



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

ESEIAAT

Titulació:

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Alumne:

Iñaki Marin Capuz

Enunciat TFG:

Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie

Director/a del TFG:


David Gonzalez Díez

Convocatòria de lliurament del TFG:

Quadrimestre de primavera 2019-2020

Contingut d'aquest volum:

Memòria


 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Resum

Aquest projecte té per objectiu l'estudi, la modelització i implementació d'un model de simulació d'un vehicle híbrid, partint d'un model purament elèctric es realitzaran les modificacions per al seu funcionament correcte, mitjançant el programari Simulink.

Amb aquest model el que es pretén, és la simulació del vehicle Opel Ampera, implementant el seu funcionament i les seves característiques principals en el model de simulació, des d'un punt de vista general i teòric.

En la simulació també es tindran en compte altres factors externs al vehicle com pot ser l'entorn del vehicle, les forces que hi actuen o la simulació del model mitjançant cicles de conducció.


 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Abstract

This project aims to study, model and implement a simulation model of a hybrid vehicle, starting from an electrical model, the necessary implementations will be carried out for its correct operation, using the Simulink software.

With this model, what will be done is the simulation of the Opel Ampera vehicle, implementing its operation and its main features in the simulation model, the simulation will be carried out from a general and theoretical point of view.

The simulation will also take into account other factors external to the vehicle such as the environment of the vehicle, the forces acting on it or the simulation of the model using driving cycles.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Declaració d'honor

I declare that,

the work in this Master Thesis / **Degree Thesis** (*choose one*) is completely my own work,

no part of this Master Thesis / **Degree Thesis** (*choose one*) is taken from other people's work without giving them credit,

all references have been clearly cited,

I'm authorised to make use of the company's / research group (*choose one*) related information I'm providing in this document (*select when it applies*).

I understand that an infringement of this declaration leaves me subject to the foreseen disciplinary actions by *The Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH*.

Iñaki Marin Capuz

30/06/2020


Student Name

Signature

Date


Title of the Thesis:

Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie


 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Index

1. Introducció	14
1.1 Objecte	14
1.2 Abast.....	14
1.3 Especificacions bàsiques	14
1.4 Justificació	15
2. Estat de l'art	16
3. El vehicle híbrid	17
3.1 Introducció	17
3.2 Tipus de vehicles híbrids	18
3.2.1 Híbrid sèrie	18
3.2.2 Híbrid paral·lel	19
3.2.3 Híbrid paral·lel sèrie	20
3.3 Funcionament Opel Ampera	21
4. Caracterització del model de simulació	26
4.1 Introducció	26
4.2 Contribucions realitzades en el model.....	26
4.3 Descripció dels blocs de control.....	27
4.3.1 Bloc de control dels cicles de conducció	28
4.3.1.1 HWFET	29
4.3.1.2 FTP 75	29
4.3.1.3 US06	30
4.3.1.4 UDDS	31
4.3.1.4 NEDC.....	32
4.3.1.5 WLTP.....	33
4.3.1.6 Implementació dels cicles en el model de simulació	37
4.3.2 Bloc de control del conductor	38
4.3.3 Bloc de components del vehicle.....	40
4.3.3.1 Bateria	41


 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3.3.2	Convertidor DC-DC	42
4.3.3.3	Inversors dels motor elèctrics	43
4.3.3.4	Motors elèctrics	44
4.3.3.5	Sistema de transmissió.....	47
4.3.3.6	Motor de combustió interna	52
4.3.3.7	Generador elèctric	54
4.3.3.8	Neumàtic	57
4.3.4	Bloc de l'entorn de simulació	58
4.3.4.1	Força gravitatòria	58
4.3.4.2	Força aerodinàmica	59
4.3.4.3	Força de rodament	60
4.3.6	Bloc sumatori de forces.....	62
5.	Estratègia de control dels motors	63
5.1	Control dels motors elèctrics	63
5.2	Control del motor de combustió.....	67
6.	Validació dels resultats de la simulació.....	71
6.1	Validació del funcionament del generador elèctric	71
6.2	Validació del funcionament del sistema de transmissió	78
6.3	Validació general del model	84
7.	Conclusions.....	88
8.	Línies futures de treball.....	89
9.	Impacte mediambiental	90
10.	Resum del pressupost	91
11.	Referències bibliogràfiques.....	92


 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Index d'il·lustracions

Il·lustració 1. Configuració vehicle híbrid sèrie	18
Il·lustració 2. Configuració vehicle híbrid paral·lel	19
Il·lustració 3. Configuració híbrid paral·lel-sèrie	20
Il·lustració 4. Motors elèctrics i sistema de transmissió Opel Ampera	21
Il·lustració 5. Mapa eficiència motor elèctric.....	22
Il·lustració 6. Mode de funcionament purament elèctric Opel Ampera.....	23
Il·lustració 7. Mode de funcionament combinat Opel Ampera	24
Il·lustració 8. Esquema general del model de simulació.	27
Il·lustració 9. Gràfica velocitat temps cicle HWFET	29
Il·lustració 10. Gràfica velocitat temps cicle FTP 75	30
Il·lustració 11. Gràfica velocitat temps cicle US06	31
Il·lustració 12. Gràfica velocitat temps cicle UDDS	32
Il·lustració 13. Gràfica velocitat temps cicle NEDC	33
Il·lustració 14. Gràfica velocitat temps cicle WLTP classe 1.....	35
Il·lustració 15. Gràfica velocitat temps cicle WLTP classe 2.....	35
Il·lustració 16. Gràfica velocitat temps cicle WLTP classe 3a	36
Il·lustració 17. Gràfica velocitat temps cicle WLTP classe 3b.....	36
Il·lustració 18. Selector cicles de conducció en el model.....	37
Il·lustració 19. Bloc de simulació del conductor.....	38
Il·lustració 20. Controlador PID	39
Il·lustració 21. Blocs dels components del vehicle	40
Il·lustració 22. Model de la bateria	41
Il·lustració 23. Bloc del convertidor DC-DC boost	42
Il·lustració 24. Bloc inversors motors elèctrics.....	43
Il·lustració 25. Bloc dels motors elèctrics.....	44
Il·lustració 26. Mapa d'eficiència motor 'A'	45
Il·lustració 27. Mapa d'eficiència motor 'B'	46
Il·lustració 28. Funcionament motors elèctrics.....	46
Il·lustració 29. Parts tren d'engranatges epicicloidal	47
Il·lustració 30. Esquema del funcionament de sistema de transmissió de potencia	49
Il·lustració 31. Bloc del sistema d'engranatges	50
Il·lustració 32. Funcionament sistema d'engranatges	52
Il·lustració 33. Mapa de funcionament motor de combustió interna.....	53
Il·lustració 34. Funcionament motor de combustió interna	53
Il·lustració 35. Càlcul del consum de combustible	54
Il·lustració 36. Càlcul emissions NOx i CO ₂	54
Il·lustració 37. Esquema funcionament complet del generador	55


 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Il·lustració 38. Funcionament generador elèctric	55
Il·lustració 39. Funcionament convertidor trifàsic	56
Il·lustració 40. Funcionament convertidor DC-DC boost.....	57
Il·lustració 41. Transferència de força i velocitat al neumàtic	57
Il·lustració 42. Forces aplicades sobre el vehicle durant una pendent	58
Il·lustració 43. Evolució de la força aerodinàmica en funció de la velocitat	59
Il·lustració 44. Bloc forces externes	60
Il·lustració 45. Funcionament bloc forces externes	61
Il·lustració 46. Bloc sumatori de forces	62
Il·lustració 47. Funcionament del bloc per extreure la velocitat del vehicle	62
Il·lustració 48. Zona de treball motor 'B'	65
Il·lustració 49. Funcionament bloc de control dels motors elèctrics	66
Il·lustració 50. Esquema general del funcionament d'un controlador fuzzy	67
Il·lustració 51. Zones de funcionament variable velocitat de carrega	68
Il·lustració 52. Zones de funcionament variable accelerador	69
Il·lustració 53. Funcionament controlador fuzzy.....	70
Il·lustració 54. Valors d'entrada i sortida controlador fuzzy	72
Il·lustració 55. Activació generador.....	72
Il·lustració 56. Paràmetres de comandament sobre el motor de combustió interna.	73
Il·lustració 57. Emissions i consum motor de combustió.....	74
Il·lustració 58. Parell motor de combustió.....	75
Il·lustració 59. Voltatges i intensitats generador	75
Il·lustració 60. Intensitat i voltatge convertidor trifàsic.....	76
Il·lustració 61. Intensitat i voltatge convertidor boost.....	76
Il·lustració 62. Evolució de l'estat de carrega de la bateria	77
Il·lustració 63. Comprovació del correcte funcionament del model mitjançant la velocitat.....	78
Il·lustració 64. Funcionament dels motors elèctrics	79
Il·lustració 65. Parells dels motors elèctrics i parell total subministrat	80
Il·lustració 66. Velocitat angular dels motors elèctrics	81
Il·lustració 67. Eficiències dels motors elèctrics.....	82
Il·lustració 68. Energia absorbida pel sistema propulsiu.....	83
Il·lustració 69. Validació del correcte funcionament del control de la velocitat	84
Il·lustració 70. Forces contraproduents del model	85
Il·lustració 71. Validació acceleració de 0-100 km/h.....	85
Il·lustració 72. Autonomia màxima del model	86
Il·lustració 73. Consum energètic del model.....	87

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		


Index de taules

Taula 1. Característiques principals Opel Ampera	25
Taula 2. Caracterització de cada classe en el cicle WLTP	34
Taula 3. Caracterització del tren epicicloidal	49
Taula 4. Dades per el càlcul de la força aerodinàmica	59
Taula 5. Comprovació valors obtinguts en la simulació	87
Taula 6. Resum del pressupost.....	91

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		


Index d'equacions

Equació 1. Comportament controlador proporcional integral	39
Equació 2. Càlcul estat de carrega de la bateria	41
Equació 3. Relacions voltatges i intensitats convertidor DC-DC boost	42
Equació 4. Càlcul del parell subministrat pel motor elèctric	45
Equació 5. Comportament d'un sistema d'engranatges epicicloidial	48
Equació 6. Càlcul de la relació de transmissió d'un sistema epicicloidial	48
Equació 7. Càlcul de la velocitat angular del porta-satèl·lits.....	48
Equació 8. Càlcul de la relació de transmissió corona fixa.....	50
Equació 9. Càlcul relació de transmissió sistema d'engranatges secundari	50
Equació 10. Càlcul velocitat angular motor 'B'.....	51
Equació 11. Càlcul del parell total de sortida del sistema propulsiu mitjançant el mode purament elèctric.....	51
Equació 12. Càlcul velocitat angular motor 'A'	51
Equació 13. Càlcul del parell total de sortida del sistema propulsiu mitjançant el mode combinat	51
Equació 14. Càlcul voltatge mitja proporcionat pel rectificador trifàsic.....	56
Equació 15. Càlcul del voltatge proporcionat pel rectificador trifàsic	56
Equació 16. Càlcul de la força subministrada al neumàtic.....	57
Equació 17. Velocitat de gir de la roda.....	57
Equació 18. Càlcul força gravitatòria que actua sobre el vehicle en una pendent	58
Equació 19. Càlcul força aerodinàmica aplicada sobre el vehicle.....	59
Equació 20. Càlcul de la força degut a la rodadora del vehicle.....	60
Equació 21. Càlcul de la velocitat lineal del vehicle	62
Equació 22. Càlcul del parell de control del motor elèctric	64
Equació 23. Càlcul de les forces de resistència a una velocitat de 100km/h.....	65
Equació 24. Càlcul de la potencia requerida per mantindrà una velocitat de 100km/h	65
Equació 25. Equacions de control sobre el control dels motors elèctrics	66


 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		


Nomenclatura

Simbologia	Significat	Unitats
Kp	Constant de proporcionalitat	
Ki	Constant d'integració	
e	Error del sistema	
F	Sortida del sistema	
SOC	Estat de carrega de la bateria	%
SOC ₀	Estat de carrega inicial de la bateria	%
Vbat	Voltatge bateria	V
Ibat	Intensitat bateria	A
C	Capacitat bateria	J
Vout	Voltatge de sortida convertidor	V
linv	Intensitat inversor	A
Ia	Corrent de la fase a	A
Ib	Corrent de la fase b	A
Ic	Corrent de la fase c	A
Ke	Constant de parell	N/A
Tm	Parell subministrat pel motor elèctric	N*m
C	Nombre de dents de la corona	
P	Nombre de dents del porta-satèl·lits	
S	Nombre de dents dels satèl·lits	
Wc	Velocitat angular de la corona	rad/s
Wp	Velocitat angular del planeta	rad/s
Wps	Velocitat angular del porta-satèl·lits	rad/s
Wa	Velocitat angular motor 'A'	rad/s
Wb	Velocitat angular motor 'B'	rad/s
Ta	Parell obtingut pel motor 'A'	N*m
Tb	Parell obtingut pel motor 'B'	N*m
Tf	Parell total obtingut del sistema propulsiu	N*m
Vdc	Voltatge mitja subministrat pel convertidor trifàsic	V
VI	Voltatge de línia	V
V ₀	Voltatge proporcionat pel convertidor trifàsic	V
W	Velocitat angular del motor de combustió	rad/s
Vveh	Velocitat lineal del vehicle	m/s
Wr	Velocitat angular de la roda	rad/s
Rw	Radi del neumàtic	m
Fa	Força subministrada al neumàtic	N

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Px	Força gravitatòria degut a la pendent	N
Mv	Massa del vehicle	kg
G	Constant gravitacional	m/s ²
α	Pendent de la superfície	o
D	Força aerodinàmica aplicada sobre el vehicle	N
Cd	Coeficient aerodinàmic del vehicle	
ρ	Densitat de l'aire	kg/m ³
S	Superfície frontal del vehicle	m ²
Fr	Força de rodadora	N
Cr	Coeficient de rodadora	
N	Carrega normal	N
F	Forces aplicades sobre el vehicle	N
a	Acceleració del vehicle	m/s ²
Tcb	Parell de comandament del motor 'B'	N*m
Tca	Parell de comandament del motor 'A'	N*m
Tc	Parell de comandament total	N*m
Fvc	Força de comandament	N
Fres ₁₀₀	Forces de resistència a una velocitat de 100km/h	N
P	Potencia requerida pel sistema	W

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <hr/> <p>Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</p>	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

1. Introducció

1.1 Objecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és la realització i validació d'un model de simulació d'un cotxe híbrid, partint de la base d'un model purament elèctric, s'implementaran les modificacions necessàries perquè els dos tipus de sistemes funcionin conjuntament, des del punt de vista de màxima eficiència i rendiment de cada sistema, depenent dels requisits de l'aplicació final.

1.2 Abast

El present projecte té la finalitat de la realització d'un model de simulació mitjançant el programari Simulink, a partir d'un model ja implementat d'un vehicle purament elèctric s'inclouran tots els elements necessaris per a realització d'un model híbrid d'un vehicle i així obtenir el comportament del nou model de simulació implementat.


En el model de simulació es tindrà present la simulació amb el màxim realisme possible d'un model de vehicle actualment present en el mercat, com és el l'OPEL AMPERA, a partir d'aquest model de vehicle es realitzaran les implementacions i modificacions necessàries perquè el model de simulació representi el funcionament i tingui les característiques pròpies del vehicle.

Per la realització de les implementacions comentades es realitzar un estudi en el funcionament actual dels vehicles híbrids i les seves principals característiques, com poden ser consums i eficiències energètiques.

En la realització de la simulació no es tindrà present un comportament dinàmic del vehicle complex, si no que serà un model del vehicle senzill sense tindre en compte acceleracions aplicades en el vehicle, canvis de direcció, transferència de masses, carregues aplicades en el neumàtics o coeficients de rodament variables.

1.3 Especificacions bàsiques

- La dedicació per la realització del treball ha de ser aproximadament de 300 hores.
- Data de lliurament prevista el 30 de Juny de 2020.
- Tot el procés de simulació es dura a terme mitjançant el programari de Matlab (Simulink).
- Les simulacions es duren a terme mitjançant cicles de conducció.
- Es buscaran paràmetres de màxima eficiència i rendiment per a l'aplicació desitjada.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		


1.4 Justificació

La necessitat de la realització d'aquests treball final de grau és la implementació, la validació i optimització d'un model de simulació d'un vehicle híbrid.

Mitjançant eines com és la simulació podem obtenir informació, analitzar-la i extreure conclusions, si haguéssim de realitzar aquesta presa de dades en un sistema implementat en la realitat, s'hauria de requerir d'una major quantitat de recursos i eines que difícilment podríem realitzar en un període tan curt de temps com és el que ens dona la simulació, per tant amb la simulació obtenim resultats amb un conjunt mínim de recursos i un temps molt reduït, comparat amb la implementació del model en la realitat.

És un projecte el qual s'ha d'estudiar, comprendre i entendre el programari amb el qual s'està realitzant la simulació, ja que són eines molt potents amb les quals es poden simular la gran majoria de successos o processos que existeixen.

En aquest model de simulació i en la majoria dels altres, el principal desavantatge que hi trobem és la precisió dels resultants obtinguts en la simulació, són raonables i ens donen una aproximació amb la realitat, però no ens donen uns valors certs, sinó una aproximació dintre d'uns valors raonables, la precisió dels resultants vindrà directament donada per la precisió de les dades introduïdes en la simulació.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

2. Estat de l'art

En el període de les últimes dècades i principalment en els últims anys, la tecnologia aplicada als vehicles evoluciona de forma exponencial, ja que les concentracions de contaminants i productes emesos a l'atmosfera creix contínuament provocant successos com l'efecte hivernacle o concentracions de partícules en suspensió i altres contaminants.

Per aquest motiu hi ha la necessitat de reduir al màxim totes les emissions possibles i crear noves tecnologies que ens permetin el desplaçament sense la quantitat d'emissions que produeix un vehicle de combustió interna, actualment a Europa el 30% de les emissions de CO₂ son degudes als sector del transport.


A principis del segle XX les empreses dedicades al sector automobilístic, produïen vehicles amb motors elèctrics, imposant-se notòriament durant uns quants anys, degut a factors com poden ser la absència de sorolls, de fums i vibracions. L'inconvenient principal d'aquells vehicles era l'autonomia de la que disposaven i les velocitats que adquirien comparats amb els vehicles de combustió interna, es per aquesta falta d'autonomia el motiu principal que els vehicles de combustió es van imposar sobre el vehicles elèctrics, finalment deixats de produir.

A finals del segle XX, es quan es retorna en la investigació dels vehicles elèctrics, aplicant la millora de la tecnologia adquirida en els vehicles, però en aquella època el vehicle elèctric tampoc va aconseguir quedar-se com a medi de transport.

És en el últims anys, on hi ha hagut una important evolució en el sector del transport, produint vehicles elèctrics i alhora produint vehicles que combinen les dues tecnologies com es el cas dels vehicles híbrids.

Però actualment, els vehicles elèctrics continuen tenint el mateix problema que en el passat, la autonomia d'un vehicle elèctric no es comparable amb la d'un vehicle de combustió interna, fins que la tecnologia implementada en les bateries no es tingui el suficientment consolidada per tindre una certa autonomia, el vehicle elèctric no s'establirà com a vehicle principal de transport.

Es per això que en la actualitat els fabricants d'automòbils opten per la implementació de tecnologies híbrides en els seus models de vehicles, com poden ser tecnologies en sèrie, en paral·lel i combinades, amb el principal objectiu de reduir les emissions en el transport, amb unes xifres de entre un 30% i un 50% menys d'emissions contaminants, i reduir la dependència actual amb el consum de combustibles fòssils, consegüentment implementant una gran diversificació de tecnologies.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

3. El vehicle híbrid

3.1 Introducció

Un vehicle híbrid, és un mitjà de transport el qual es impulsat mitjançant la combinació de dos sistemes d'energia procedents de diferents fonts de naturalesa, generalment aquestes dues fonts d'energia són procedents d'un motor elèctric i un motor de combustió interna.


Mitjançant aquesta combinació d'energies procedents de fonts diferents, el vehicle híbrid les utilitza per generar el moviment del vehicle de manera més eficient, obtenint una reducció del consum de combustibles fòssils i per tant una disminució de les emissions emeses pel vehicle, es a dir una conducció més sostenible i favorable per al medi ambient, cal remarcar que la utilització de sistemes híbrids com mitjà de transport també té efectes ambientals negatius a part de les emissions emeses, produint perjudicis en el medi ambient, com pot ser la producció i reciclatge de certs components del vehicle com les bateries, però cal tindre present que un vehicle híbrid sempre serà més eficient que un vehicle de combustió interna.

Les principals avantatges d'un vehicle híbrid en comparació amb un vehicle de combustió interna són les exposades seguidament:

- Major eficiència energètica
- Reducció de les emissions emeses
- Menor consum de combustibles fòssils
- Recuperació d'energia
- Vehicles menys contaminants acústicament

Actualment, hi ha una gran diversificació en la combinació d'aquestes dues fonts d'energia, segons el sistema amb el qual es combini el motor elèctric i el motor de combustió, el vehicle tindrà una menor o major eficiència energètica

A banda del sistema emprat, els vehicles híbrids també disposen d'una tecnologia aplicada més eficient, com són mecanismes de recuperació d'energia sigui tèrmica o mecànica, com és el cas de les frenades regeneratives, la qual la seva principal funcionalitat és recuperar part de l'energia cinètica perduda en el procés de frenades i transforma-la en energia elèctrica.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

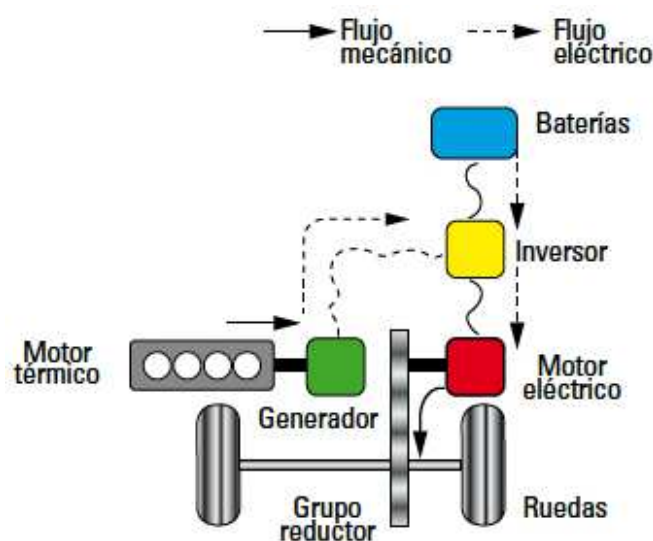
3.2 Tipus de vehicles híbrids

Els vehicles híbrids tenen diferents classificacions segons la forma en la qual es combinen el motor elèctric i el motor de combustió interna. Existeixen tres configuracions principals en funció de la combinació de les fonts d'energia emprades, són la configuració en sèrie, la configuració en paral·lel i la configuració sèrie-paral·lel.

3.2.1 Híbrid sèrie


Els vehicles híbrids de configuració en sèrie, també anomenats vehicles elèctrics d'autonomia extensa (EREV), són vehicles els quals la seva principal característica és que la utilització del motor de combustió interna no té la funció de transmetre energia mecànica a les rodes motrius, sinó que s'utilitza aquest com a generador elèctric, sent una font d'energia elèctrica, quan l'estat de la bateria està per sota d'un valor límit, el motor de combustió es posa en funcionament, subministrant el corrent necessari a la bateria per a poder satisfer la demanda de corrent elèctric requerit pel motor elèctric durant la conducció, en aquesta configuració la cilindrada del motor de combustió es baixa, entre 1000 i 1500cc.

En aquesta classe de vehicles, la força motriu sempre es obtinguda a través de l'energia elèctrica proporcionada pel motor elèctric del vehicle, d'aquesta manera el motor de combustió interna no té cap lligam en la tracció motriu del vehicle, i per tant es fa treballar el motor de combustió a règims òptims reduint emissions i consums, utilitzant-lo com un ampliador de prestacions, ja que la majoria del temps se circula amb la càrrega de la qual disposen les bateries.



Il·lustració 1. Configuració vehicle híbrid sèrie

Font: [11]

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

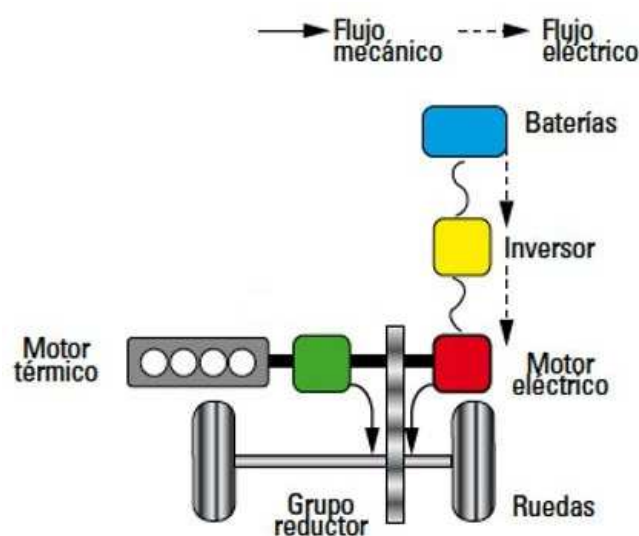
El principal inconvenient d'aquest tipus de configuració són les pèrdues d'energia totals de tot el sistema, ja que l'energia mecànica produïda pel motor de combustió es transforma en energia elèctrica, un cop obtinguda l'energia elèctrica aquesta s'ha de rectificar a les necessitats desitjades, en totes aquestes transformacions d'energia cada cop es produeixen pèrdues a causa dels diferents rendiments de les màquines.

Aquesta configuració basada en la utilització d'un motor de combustió interna per a la producció d'energia elèctrica no es utilitza només en el sector de l'automoció, sinó que en altres àmbits també es utilitza, com es el cas de les locomotores dièsel, que generen electricitat mitjançant el motor dièsel per alimentar els motors elèctrics disposats a les diferents rodes de la locomotora.

3.2.2 Híbrid paral·lel


En els vehicles híbrids de configuració en paral·lel, també coneguts com a vehicles semi híbrids, el seu principal funcionament recau en la utilització d'un motor elèctric i un motor de combustió interna per transferir energia mecànica a les rodes, sigui treballant de forma conjunta o de manera independent, aquesta configuració és una solució molt interessant tenint en compte les emissions del vehicle i consums de combustibles fòssils, ja que depenent de la utilització del vehicle, si es per ciutat o per carretera, treballarà d'una forma concreta, obtenint unes prestacions en funció de la conducció del vehicle.

Aquesta energia mecànica produïda es transferida normalment al mateix eix mitjançant els dos motors, l'elèctric i el de combustió, mantenint en tot moment una connexió mecànica entre el motor elèctric, el motor de combustió i el sistema d'engrenatges reductors.



Il·lustració 2. Configuració vehicle híbrid paral·lel

Font: [11]

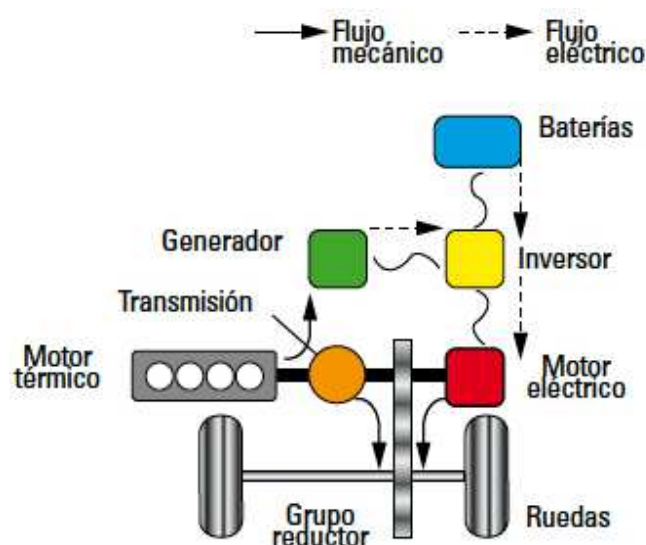
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

La transferència d'energia mecànica es controlada automàticament mitjançant un conjunt de sistemes d'embragatges que dependent de les necessitats de la conducció permetrà la transferència d'energia mitjançant el motor de combustió, el motor elèctric o a vegades els dos motors. En una circulació per ciutat on les prestacions requerides pel vehicle són baixes s'utilitzarà el motor elèctric, mentre que per una conducció on els requisits del sistema propulsiu sigui més elevat, el motor de combustió començarà el seu funcionament. Majoritàriament en aquest tipus de configuració el motor de combustió interna aporta més energia mecànica que el motor elèctric, utilitzant aquest com ajuda addicional en la conducció.

3.2.3 Híbrid paral·lel sèrie


En els vehicles de configuració en paral·lel sèrie, també anomenats com a full híbrid, la seva principal característica resideix en què són sistemes que es basen en una configuració que utilitzen el funcionament dels sistemes de configuració en sèrie i paral·lel alhora, es a dir disposen d'un motor de combustió i un motor elèctric que transfereixen energia mecànica a les rodes, però alhora també tenen incorporat un generador elèctric que aprofita l'energia mecànica del motor de combustió per a generar energia elèctrica que s'utilitza per a la recàrrega de les bateries.

És un sistema d'una complexitat elevada, des del punt de vista de la gestió electrònica i mecànica que comporta el funcionament de cada una de les màquines en les condicions més òptimes depenent de les prestacions requerides en la conducció en cada instant, però alhora és el sistema de configuració que major eficiència proporciona, reunint les millors prestacions que proporciona cada configuració per separat en una mateixa.



Il·lustració 3. Configuració híbrid paral·lel-sèrie

Font: [11]

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

D'aquesta manera el motor elèctric i el motor de combustió proporcionen energia mecànica a les rodes, compartint el mateix eix de transferència d'energia mitjançant un sistema d'engrenatges planetaris, i alhora el sistema format pel generador proporciona una gran autonomia, carregant les bateries en les condicions necessàries de conducció.

3.3 Funcionament Opel Ampera


Com ja s'ha comentat amb anterioritat en aquest treball, en la realització del model de simulació del vehicle híbrid es reproduirà a escala general el funcionament del Opel Ampera, amb els seus principals components, la seva forma característica de funcionament i els principals paràmetres que el caracteritzen, per això seguidament es realitzarà una explicació sobre aquest model.

El Opel Ampera és un vehicle híbrid d'autonomia extensa, la seva configuració es basa principalment en una configuració en sèrie, utilitzant el motor de combustió interna incorporat en el vehicle com a generador elèctric, aquesta és una gran avantatge ja que quan els nivells de les bateries siguin baixos, el generador elèctric proporciona la càrrega a les bateries per a obtenir una autonomia de conducció elevada, per tant en aquest vehicle el sistema encarregat de transmetre la força motriu a les rodes sempre es fa mitjançant energia elèctrica. El vehicle en qüestió, disposa de tres màquines, la primera màquina i la més important és el motor elèctric principal del vehicle, és un motor elèctric síncron d'imants permanents que proporciona unes prestacions de potència màxima de 150CV (111kW) i un parell màxim de 370 Nm, aquest motor serà el que principalment utilitzi el vehicle en tot el rang de conducció per a proporcionar la força motriu per a moure les rodes, en la següent il·lustració es pot observar aquest motor principal amb l'etiqueta de "Rotor B".



Il·lustració 4. Motors elèctrics i sistema de transmissió Opel Ampera

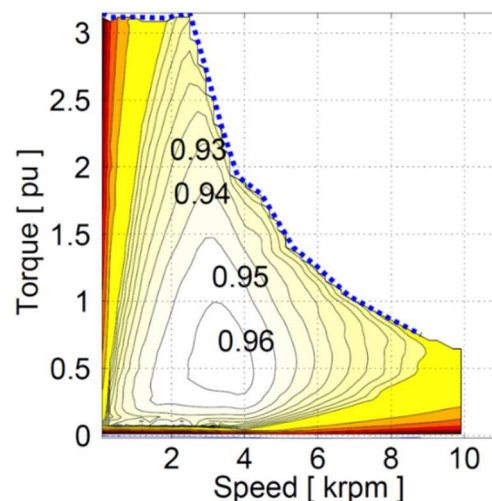
Font: [14]

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

La segona màquina que disposa el Opel Ampera, és un generador elèctric, aquesta màquina síncrona formada també per imants permanents es l'encarregada de generar l'energia elèctrica per a realitzar la càrrega de les bateries, la potència màxima entregada pel generador és de 75 CV (55kW), es pot observar en la il·lustració anterior amb l'etiqueta de "Rotor A"

La principal peculiaritat que resideix en el funcionament del Opel Ampera es mitjançant aquesta segona màquina, això es degut a que aquest generador en unes certes condicions de funcionament també funciona com a motor elèctric proporcionant una força motriu a les rodes, que ajuda al motor elèctric principal.


Aquest funcionament de dos motors elèctrics operant al mateix moment, es basa a augmentar l'eficiència dels motors elèctrics, les condicions de funcionament d'aquest segon motor es duen a terme quan la velocitat de gir del motor principal és alta.



Il·lustració 5. Mapa eficiència motor elèctric

Font: [20]

En els motors elèctrics quan treballen a règims de velocitats altes la seva eficiència disminueix, obtenint l'eficiència màxima d'aquests en un rang de velocitat mig, i això es principalment la funció del sistema epicicloidal que realitza el Opel Ampera quan es posa en funcionament el segon motor, quan el motor principal treballa a velocitats de gir altes, la segona màquina elèctrica actua com a motor elèctric proporcionant també una força motriu, al treballar conjuntament aquests dos motors elèctrics i mitjançant el tren epicicloidal del qual disposa el vehicle, s'aconsegueix que la velocitat de gir del motor principal es redueixi, treballant en un rang de velocitats mitjanes, es a dir quan es posa en funcionament el segon motor elèctric mitjançant uns sistemes d'actuadors que funcionen com embragues, la relació de transmissió del sistema propulsiu varia, i com a conseqüència l'efecte que es produeix es que l'eficiència dels motors elèctrics augmenta, obtenint menys pèrdues a través de la transformació de l'energia elèctrica en energia mecànica.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

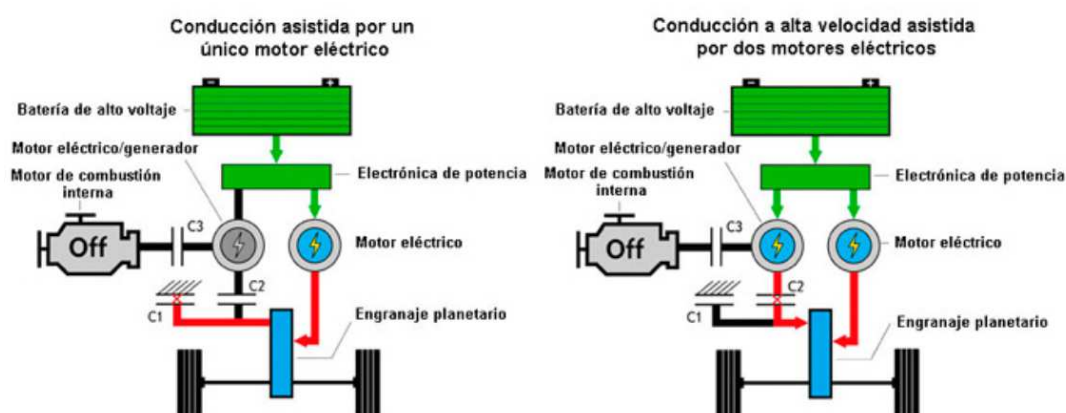
La tercera màquina la qual disposa el Opel Ampera, és un motor de combustió interna, el qual la seva principal funció és la de transmetre energia mecànica al generador elèctric, no hi ha cap lligam entre el motor de combustió i el sistema d'engranatges.

Aquest motor de combustió que disposa el Opel Ampera, és un motor de gasolina de quatre cilindres, amb una cilindrada de 1400 c.c, el qual les seves principals prestacions són d'una potència màxima de 86 (CV) i un parell màxim de 130 Nm.

El règim de funcionament del motor de combustió, és un règim de gir en general estable i independent de la càrrega de l'accelerador del motor elèctric, treballant en un règim de gir que busca la màxima eficiència del motor produint un nombre d'emissions menor i una energia mecànica major, tot i així quan l'estat de les bateries és baix o el consum d'intensitat del motor elèctric principal és elevat, el motor de combustió augmenta el règim de gir per produir més energia mecànica que serà transferida al generador.


Mitjançant aquestes tres màquines, dos d'elèctriques i una de combustió, el Opel Ampera té dos principals modes de funcionament en funció de l'estat de càrrega de la bateria, disposa del mode purament elèctric i del mode elèctric-gasolina.

En el mode purament elèctric, el vehicle hi treballarà la major part del temps de la conducció, quan el nivell de càrrega de les bateries sigui elevat, en aquest mode de funcionament quan les velocitats a les quals circuli el vehicle siguin baixes l'energia mecànica proporcionada pel sistema propulsiu serà obtinguda a través del motor elèctric principal. Per altra banda quan la demanda d'energia mecànica sigui elevada, es a dir quan el vehicle circuli a velocitats altes, es posarà en funcionament la segona màquina elèctrica que pot treballar com a generador o motor, però en aquestes condicions de treball, treballarà com a motor, mitjançant un sistema automàtic d'embragatges, el segon motor elèctric es connectarà al sistema de transmissió mecànica, produint una disminució de la velocitat en el primer motor gràcies al sistema de tren epicicloidal i per tant augmentat l'eficiència del motor elèctric principal.



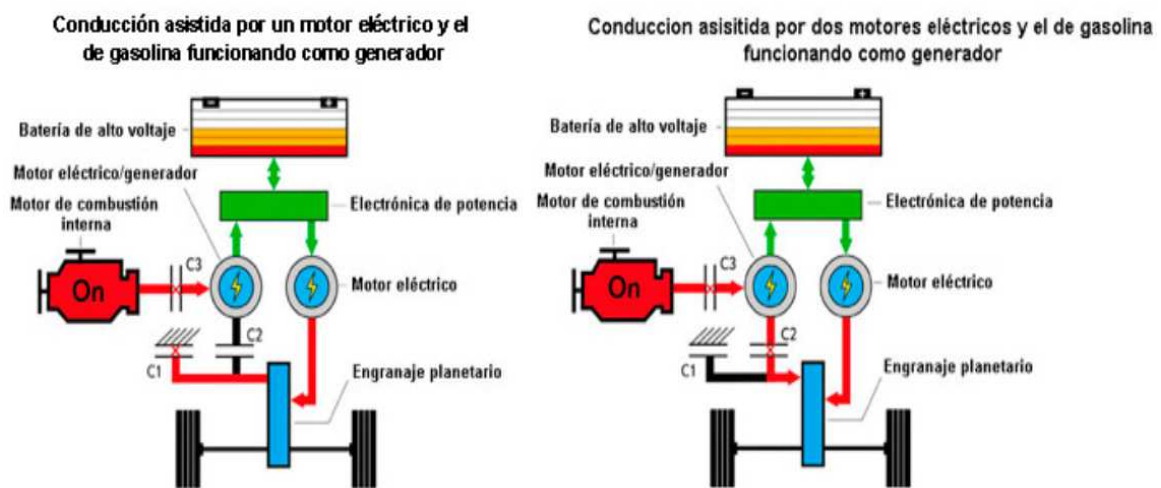
Il·lustració 6. Mode de funcionament purament elèctric Opel Ampera

Font: [15]

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

En el segon mode de funcionament, anomenat elèctric-gasolina, el vehicle hi treballarà quan el nivell de càrrega de les bateries sigui inferior a un 23% aproximadament, procurant sempre que el nivell de càrrega de les bateries no descendeixi d'aquest nivell, obtenint així una major conservació de l'estat de les bateries.

En aquest mode de funcionament el motor de combustió sempre està proporcionant energia mecànica al generador elèctric, mitjançant un actuador automàtic es connecta el motor de combustió amb el generador elèctric produint l'energia elèctrica necessària per a la demanda de consum del motor elèctric principal, a velocitats baixes de funcionament el vehicle es impulsat sempre pel motor elèctric principal.




Il·lustració 7. Mode de funcionament combinat Opel Ampera

Font: [15]

Ara bé, igual que succeeix en el mode purament elèctric, quan les prestacions requerides pel vehicle siguin elevades, es a dir quan la velocitat a la qual circula el vehicle és elevada, es vol la màxima eficiència de treball en el motor elèctric principal.


En aquest mode de funcionament elèctric-gasolina treballant en unes condicions de velocitats altes, el sistema d'augmentar l'eficiència del motor elèctric principal es semblant al mode purament elèctric, la diferencia resideix en la segona maquina elèctrica, que en aquestes condicions de treball continuarà treballant com a generador, proporcionant sempre energia elèctrica al sistema, però mitjançant un sistema que acobla el moviment del generador amb el sistema de transmissió, es transfereix una part de l'energia mecànica produïda pel motor de combustió, i que passa pel generador, al sistema de transmissió, produint el mateix efecte que en el mode purament elèctric, disminuint la velocitat de gir del motor elèctric principal, i per tant augmentant l'eficiència d'aquest.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

En la taula 1, es pot observar les principals característiques i prestacions que disposa el Opel Ampera, i que s'han utilitzat en la creació del model de simulació per a la seva reproducció.

Dimensions i pes	
Massa del vehicle	1.732 kg
Radi de la roda	0,32 m
Coeficient Cd	0,28
Àrea frontal	2,54 m ²
Bateria	
Capacitat	16 kWh
Voltatge	355 V
Motor elèctric principal (B)	
Potència màxima	111 kW
Parell màxim	370 Nm
Velocitat base	2864 rpm
Motor/Generador elèctric (A)	
Potència màxima	58 kW
Parell màxim	180 Nm
Velocitat base	2864 rpm
Motor de combustió interna	
Potència màxima	63 kW
Parell màxim	130 Nm
Revolucions potència màxima	4.800 rpm
Revolucions parell màxim	4.250 rpm
Tren epicicloidal	
Relació de transmissió efectiva final	2,16

Taula 1. Característiques principals Opel Ampera

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4. Caracterització del model de simulació

4.1 Introducció

Per la implementació del model de simulació s'ha utilitzat el programari Matlab Simulink, el model en qüestió, està format per diferents blocs de simulació que representen diferents aspectes que s'han de tindre en compte en la simulació d'un vehicle.

Aquests blocs seran en part la representació del comportament físic observat en la realitat, mitjançant les equacions físiques que representa cada bloc es pot obtenir el seu comportament.


S'ha de tindre en compte en el model, que la simulació de cada bloc estarà delimitada per la representació de la realitat de cada equació que el representa, es a dir la simulació serà en gran part representada des d'un punt de vista teòric i general, sense tindre present factors que mitjançant les equacions que caracteritzen cada bloc, no són capaces de representar-los.

El model en qüestió com ja s'ha comentat anteriorment, ha sigut adaptat a partir d'un altre model de simulació d'un vehicle purament elèctric, el qual se l'hi han realitzat les implementacions necessàries per a la simulació d'un vehicle híbrid.

4.2 Contribucions realitzades en el model

En aquest apartat es realitzaran les explicacions de les contribucions realitzades partint de la base del model purament elèctric, el qual representa la simulació del vehicle Nissan Leaf. A continuació es realitza l'enumeració de les millores realitzades sobre el model purament elèctric, per a la implementació d'un model híbrid sèrie, els sistemes no esmentats seguidament, han sigut incorporats del model purament elèctric.

- Incorporació dels cicles de conducció WLTP, per a la validació dels resultats.
- Implementació d'un motor de combustió interna amb el seu corresponent controlador i capaç de proporcionar dades d'emissions i consums.
- Realització d'un generador elèctric amb els seus corresponents convertidors per la transformació d'energia elèctrica adequada pel vehicle híbrid.
- Millora del sistema de transmissió d'energia mecànica mitjançant la incorporació d'un tren epicicloidal.
- Realització d'un sistema propulsiu capaç d'operar amb dos motors elèctrics i els seus corresponents controladors, utilitzant els mateixos models dels motors elèctrics del model purament elèctric.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3 Descripció dels blocs de control

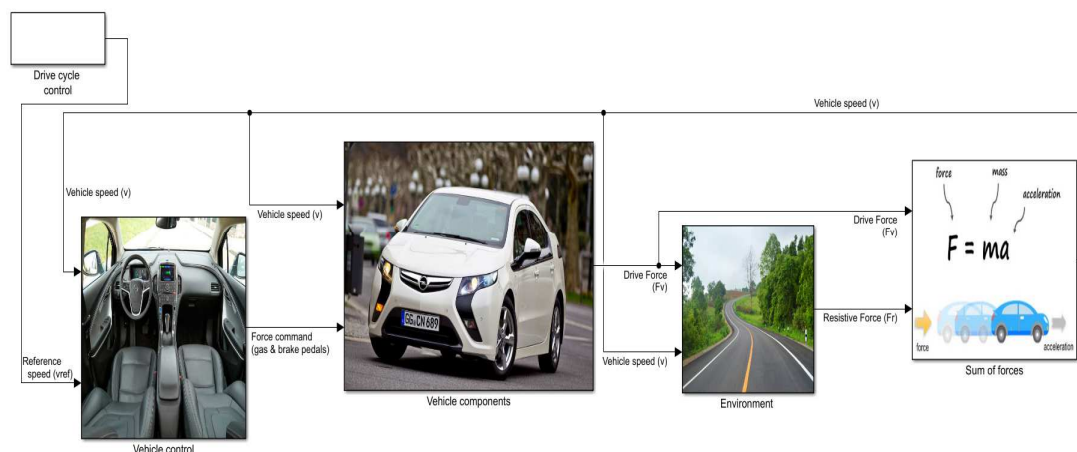
En aquest apartat es realitzarà una descripció detallada de tots els blocs que componen el model simulació, explicant el seu funcionament principal, les equacions bàsiques que el caracteritzen i la seva implementació.

Des d'un punt de vist general el model de simulació està format per cinc blocs diferents.

- Cicle de conducció
- Control del vehicle
- Components principals del vehicle
- Entorn de simulació
- Sumatori de forces

El funcionament general del model de simulació es basa en el control de la velocitat del vehicle, mitjançant el bloc dels cicles de conducció s'obté la velocitat a la qual es vol que circuli el vehicle.


Seguidament es disposa d'un controlador que decideix la quantitat de força que ha de realitzar el vehicle per mantindre la velocitat consigna, la força que s'ha de realitzar es transferida al bloc dels components del vehicle, en aquest bloc es on realment es realitza la simulació del vehicle, el funcionament dels motors i la transferència de l'energia mecànica a les rodes, intentant que la força produïda en la simulació del vehicle sigui la mateixa força que el controlador envia per a mantindre la velocitat consigna.



Il·lustració 8. Esquema general del model de simulació.

Font: pròpia

Obtinguda la força que realitza el bloc dels components del vehicle, es realitza una simulació de l'entorn, permeten obtindre les forces principals que s'oposaran al moviment del vehicle, aquestes forces són l'aerodinàmica, la de rodament i la força gravitatòria en les pendent.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Un cop es coneixen la força de tracció que realitza el vehicle i les forces que s'oposen al moviment, es calcula la velocitat actual del vehicle, sabent aquesta velocitat es torna a comparar amb la velocitat consigna establerta per a decidir la quantitat de força que s'ha de realitzar per establir que la velocitat consigna sigui la mateixa que el vehicle.

4.3.1 Bloc de control dels cicles de conducció

En aquest apartat es tractaran els diferents modes de conducció del model de simulació, aquests diferents modes s'han implementat segons diversos cicles de conducció homologats que s'utilitzen o han estat utilitzats per a fabricants de vehicles.


Un cicle de conducció és l'assignació d'una velocitat determinada en un instant de temps, durant un cert període, en aquest període el vehicle ha de mantenir la velocitat corresponent en cada instant.

La implementació dels cicles de conducció està regulada i establerta segons diferents països i organitzacions, intentant reproduir la conducció real típica en diferents situacions com una conducció per carretera, autopista o ciutat, tenint en compte les característiques de l'automòbil, les geogràfiques, les de conducció del conductor i les climàtiques entre d'altres. Aquests cicles de conducció, en l'actualitat tenen un gran valor, entre altres finalitats s'utilitzen pel desenvolupament de noves tecnologies per a vehicles, en la validació de models que preveuen el comportament del vehicle en les diferents zones de conducció i en l'homologació i reducció de les emissions contaminants en les zones de trànsit abundant, un dels objectius més importants, permetin controlar en certa manera l'equilibri ecològic.

Les característiques del tràfic de vehicles en l'actualitat canvia de forma continuada a causa de diversos factors, com són la variació de la tecnologia aplicada en els vehicles nous, el creixement constant de la població mundial, variacions en el transport públic i noves normatives per a mantindre l'equilibri ecològic entre d'altres. Aquests factors i d'altres no esmentats, són els que produeixen que la conducció dels vehicles canvi de forma continuada, en funció de la demanda del transport.

És per això que els cicles de conducció s'han d'adaptar a les condicions variants del mode en què s'utilitzen els sistemes de transport, s'han d'actualitzar en funció d'aquests canvis constants. En el model híbrid realitzat estan incorporats els següents cicles de conducció:

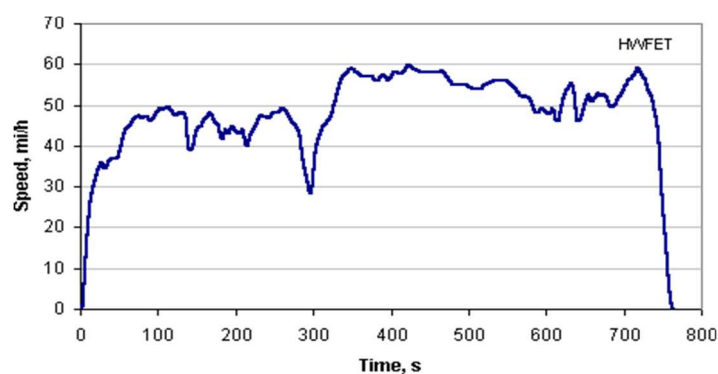
- HWFET
- FTP 75
- US06
- UDDS
- EUDC
- WLTP

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3.1.1 HWFET

El cicle de conducció HWFET (Highway Fuel Economy Test) o també anomenat HFET és un cronograma de conducció desenvolupat per la EPA (Environmental Protection Agency) en els Estats Units.

Aquest cicle s'utilitza per a determinar la qualificació de l'economia de consum combustible en la utilització per autopistes, mentre que el FTP75 també inclòs en el model de simulació s'utilitza per a la qualificació del consum per ciutat.



Il·lustració 9. Gràfica velocitat temps cicle HWFET

Font: [2]

El HWFET és realitzat en dues etapes o execucions diferents, amb un temps de parada entre les dues realitzacions de 17 segons.


La primera realització del test és un preconditionament de la seqüència del vehicle, i la segona execució es realitza la mesura dels gasos contaminants del vehicle.

Les principals característiques d'aquest cicle són les següents:

- Temps de duració: 765 segons
- Distància total recorreguda: 16,45 km
- Velocitat mitjana: 77,7 km/h

4.3.1.2 FTP 75

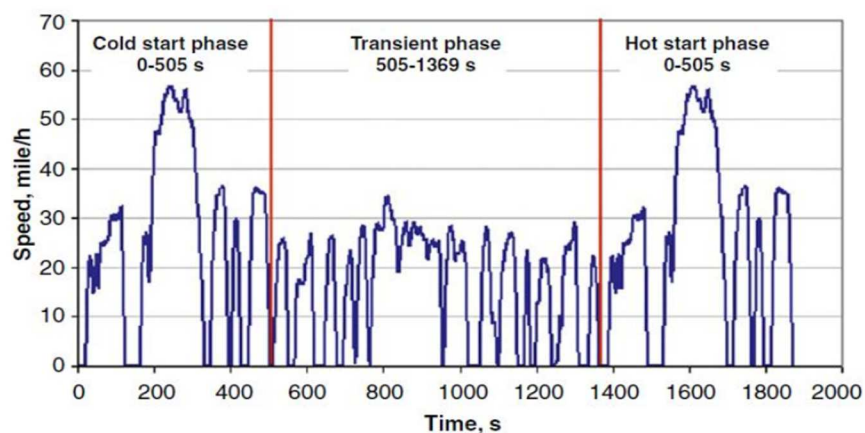
El cicle de conducció FTP 75, està regulat i desenvolupat per la EPA (Environmental Protection Agency) dels Estats Units, com ja s'ha comentat amb anterioritat, és un cicle dedicat al desenvolupament en un trajecte urbà. La seva principal finalitat és la mesura de les emissions contaminants produïdes pel vehicle i l'anàlisi del consum de combustible dels cotxes de passatgers, excloent els vehicles de càrrega pesada i els camions lleugers.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

En comparació amb altres cicles, el FTP75 és un dels cicles en què la variació de les velocitats és més elevada, intentant reproduir la conducció de forma més realista a les condicions reals de trànsit.

Es poden diferenciar tres etapes durant tot el transcurs del cicle:

- Primera etapa: fase arrancada en fred, té una durada de 505 segons
- Segona etapa: fase transitòria en calent, té una durada de 864 segons
- Tercera etapa: fase d'arrencada en calent, té una durada de 505 segons.



Il·lustració 10. Gràfica velocitat temps cicle FTP 75

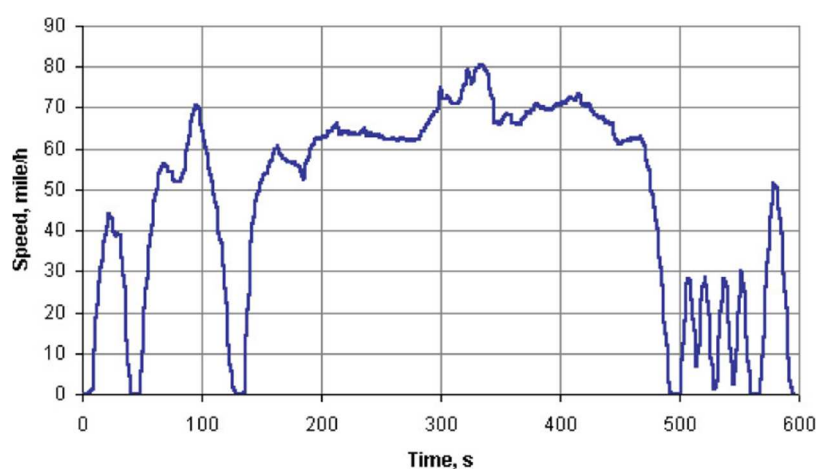
Font: [7]

Les principals característiques d'aquest cicle són les següents:

- Temps de duració: 1874 segons
- Distància total recorreguda: 17,77 km
- Velocitat mitjana: 34,1 km/h

4.3.1.3 US06

El cicle de conducció US06 també creat i desenvolupat per l'organització EPA dels Estats Units, va ser desenvolupat com una millora del cicle FTP 75, amb la necessitat de desenvolupar un nou cicle cobrint les deficiències del cicle anteriorment esmentat. El US06 intenta reproduir amb major exactitud el comportament de la conducció després de l'arrencada, també té una representació del mode de conducció més agressiva que el FTP 75, amb valors de velocitat més elevades, fluctuacions de la velocitat major i acceleracions més elevades.



Il·lustració 11. Gràfica velocitat temps cicle US06

Font: [6]

Les principals característiques d'aquest cicle són les següents:


- Temps de duració: 596 segons
- Distància total recorreguda: 12,8 km
- Velocitat mitjana: 77,9 km/h

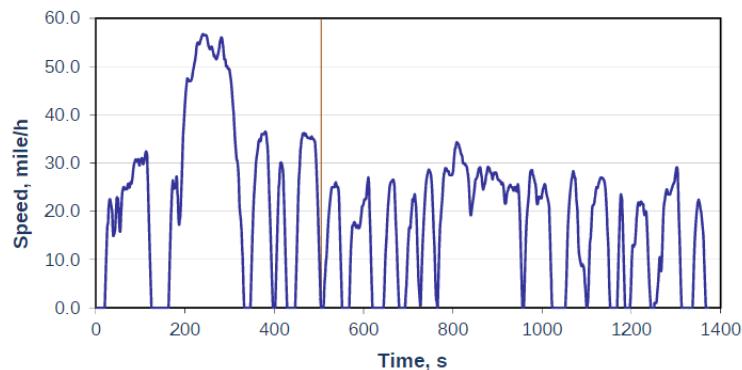
4.3.1.4 UDDS

El cicle de conducció UDDS també anomenat FTP 72, és un cicle desenvolupat per l'Agència de Protecció Ambiental (EPA) dels Estats Units, aquest cicle recrea les condicions de conducció en un trajecte urbà, principalment es realitza en vehicles de poca potència.

El FTP 72 consta de dues etapes diferenciades, la primera etapa del recorregut comença amb una arrencada en fred i té una durada de 505 segons, mentre que la segona l'etapa té una durada de 876 segons.

Aquest mateix cicle de conducció també es utilitza a països com Austràlia amb el nom de ADR 27 i a Suècia com a cicle A10 o CVS.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		



Il·lustració 12. Gràfica velocitat temps cicle UDDS

Font: [4]

Les principals característiques d'aquest cicle són les següents:

- Temps de duració: 1370 segons
- Distància total recorreguda: 12.07 km
- Velocitat mitjana: 91.25 km/h

4.3.1.4 NEDC


El cicle conducció NEDC (New European Driving Cycle) o també conegut com a MVEG (Motor Vehicle Emissions Group), és un cicle dissenyat per la inspecció dels gasos emesos en els motors de combustió dels vehicles i l'estalvi de consum de combustible en automòbils de passatgers, és un cicle de conducció que recrea la forma de conducció en Europa, la seva última actualització va ser realitzada l'any 1997

Inicialment aquest cicle es va implementar per a ser utilitzat en vehicles de gasolina, però en el transcurs dels anys també s'ha utilitzat en els vehicles dièsel, i en el cas de vehicles híbrids i elèctrics també s'ha utilitzat per a l'estimació del consum energètic i del rang de conducció.

Els principals paràmetres que es tenen en compte en aquesta prova són l'estalvi de consum de combustible urbà, extraurbà i total, i les emissions de CO₂ durant tot el recorregut.

Per la validació de la normativa europea hi ha uns valors de gasos emesos a l'atmosfera que s'han de validar, com són el monòxid de carboni (CO), hidrocarburs no cremats en la combustió (THC), òxids de nitrogen (NO_x) i partícules en suspensió (PM) entre d'altres.

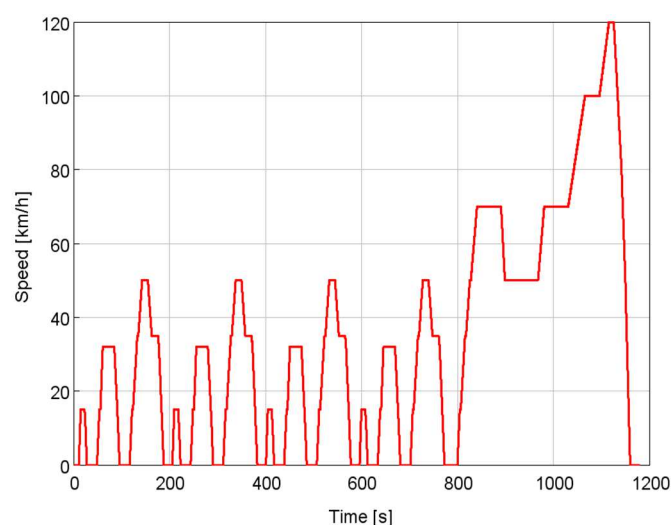
En aquest cicle de conducció estan diferenciades dues parts, la conducció urbana i la conducció extraurbà.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

El cicle de conducció urbà anomenat UDC, està implementat per a simular el comportament i conducció habituals en les ciutats Europees, es caracteritza en què no supera la velocitat de 50 km/h i també que el motor funciona a règims baixos i amb temperatures dels gasos d'escapament baixes.

Pel que fa a la part del cicle extraurbà, aquesta està implementada pensada en una conducció més agressiva i amb velocitats més altes, arribant fins a una velocitat màxima de 120km/h.

El consum de combustible gastat es calcula amb la mitjana del cicle de conducció urbà i extraurbà al llarg de tota la distància recorreguda.



Il·lustració 13. Gràfica velocitat temps cicle NEDC

Font: [5]


Les principals característiques d'aquest cicle són les següents:

- Temps de duració: 1180 segons
- Distància total recorreguda: 11,007 km
- Velocitat mitjana: 33,6 km/h

4.3.1.5 WLTP

El cicle de conducció WLTP (World Harmonized Light-duty Vehicle Test Procedure) és un cicle estandaritzat a nivell global, el qual té per objectius principals l'avaluació de les emissions de diòxid de carboni CO₂, nivells de contaminants i els consums de combustibles o energètics, en vehicles de combustió, híbrids i elèctrics.

Aquest estàndard utilitzat per a l'homologació de vehicles, va ser implementat per la UNECE (Comissió Econòmica de les Nacions Unides per Europa), per a substituir l'anterior cicle de conducció implementat, el NEDC (New European Driving Cycle), tenint uns paràmetres de

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

velocitats mitjanes, parades curtes i acceleracions més elevats que l'anterior. Una de les principals metes d'aquest cicle, es la de reproduir amb la major exactitud possible les estimacions de consum de combustibles i emissions de gasos realitzades en assajos en laboratoris, amb els valors d'una conducció en condicions normals, obtenint uns perfils de velocitats reals, assimilant amb la major exactitud els hàbits de conduir dels conductors i buscant una simulació d'una conducció real.


El WLTP pretén ser un cicle a referent internacional, degut a l'exigència en els últims anys de les emissions contaminants dels vehicles, diversos fabricants de diferents països estan implementant en els seus vehicles aquest cicle de conducció, com són Japó, Índia y Corea del Sud. La seva normalització està regulada segons la normativa (CE) 2009/443, el qual estan inclosos els valors mitjans, que el vehicle està permès que emeti, seguin el nivell d'exigència establert per la Unió Europea, que a dia d'avui té un valor de 95 grams de diòxid de carboni per quilòmetre.

Per a la realització del procediment del cicle de conducció, es realitzen quatre proves conjuntes a diferents velocitats, baixa velocitat, mitjana velocitat, alta velocitat i molt alta velocitat. Les diferents etapes que disposa el cicle, estan conformades per diferents seccions, acceleracions, frenades i parades, rarament hi haurà moments en què el perfil de velocitat indica una velocitat constant al llarg, fet que indica la màxima aproximació a la simulació d'una conducció real i no teòrica.

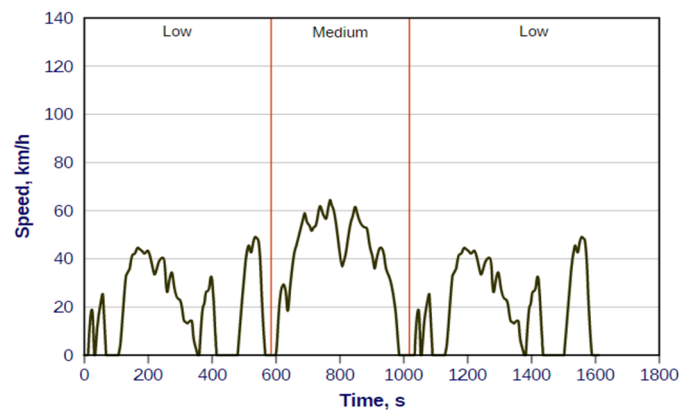
Dins del cicle WLTP, trobem tres variacions en funció de la relació potencia/massa, i de la velocitat màxima assumible, en la següent taula es mostren les diferents característiques segons el cicle establert en cada vehicle.

Categoria	P(W) /m(kg)	Velocitat màxima (km/h)	Seqüència de fase de velocitat
Classe 1	$P/m < 22$	-	Baix 1 + Mitjà 1 + Baix 1
Classe 2	$34 > P/m > 22$	-	Baix 2 + Mitjà 2 + Alt 2 + Extra alt 2
Classe 3a	$P/m > 34$	Velocitat màxima <120	Baix 3 + Mitjà 3-1 + Alt 3-1
Classe 3b	$P/m > 34$	Velocitat màxima >120	Baix 3 + Mitjà 3-2 + Alt 3-2 + Extra alt 3

Taula 2. Caracterització de cada classe en el cicle WLTP

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

○ **WLTP classe 1**



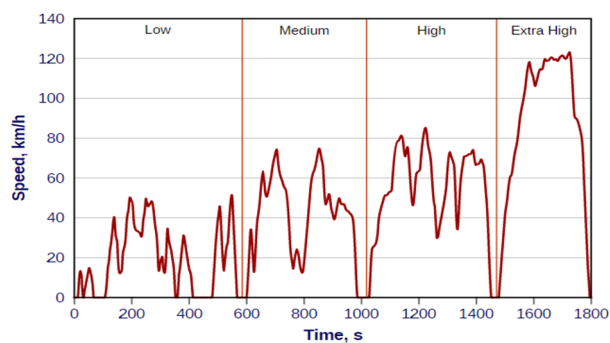
Il·lustració 14. Gràfica velocitat temps cicle WLTP classe 1

Font: [8]

Les principals característiques d'aquest cicle són les següents:

- Temps de duració: 1611 segons
- Distància total recorreguda: 11,42 km
- Velocitat mitjana: 26,9 km/h

○ **WLP classe 2**




Il·lustració 15. Gràfica velocitat temps cicle WLTP classe 2

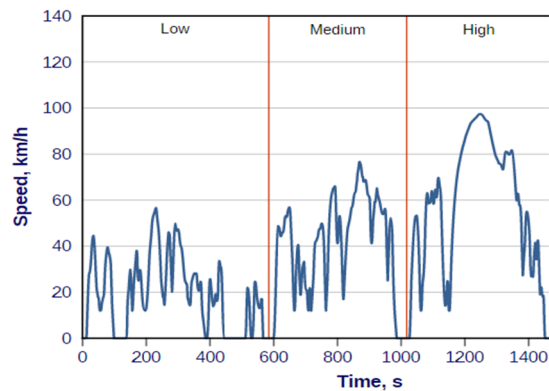
Font: [8]

Les principals característiques d'aquest cicle són les següents:

- Temps de duració: 1800 segons
- Distància total recorreguda: 22,65 km
- Velocitat mitjana: 50,37 km/h

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

○ **WLTP classe 3a**



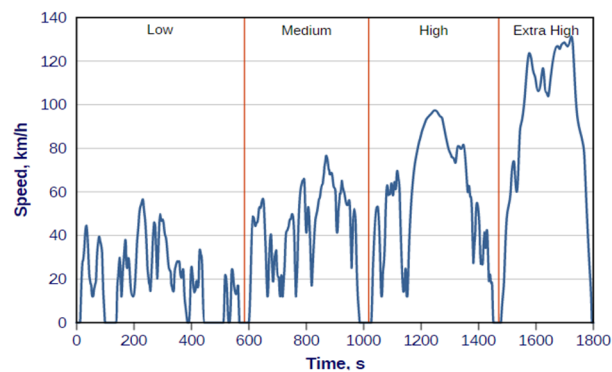
Il·lustració 16. Gràfica velocitat temps cicle WLTP classe 3a

Font: [8]

Les principals característiques d'aquest cicle són les següents:

- Temps de duració: 1477 segons
- Distància total recorreguda: 23,19 km
- Velocitat mitjana: 38,36 km/h

○ **WLTP classe 3b**




Il·lustració 17. Gràfica velocitat temps cicle WLTP classe 3b

Font: [8]

Les principals característiques d'aquest cicle són les següents:

- Temps de duració: 1800 segons
- Distància total recorreguda: 23,26 km
- Velocitat mitjana: 51,65 km/h

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

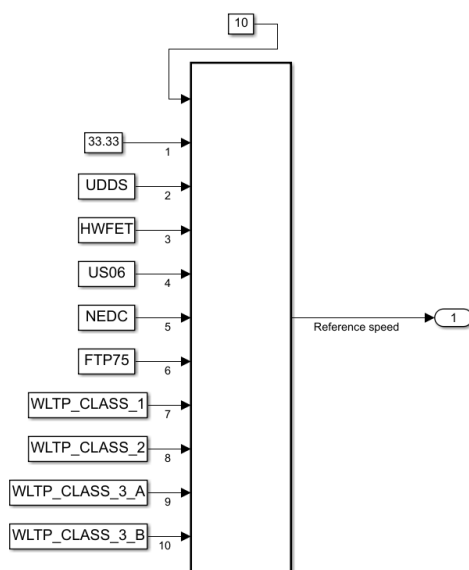
Com ja s'ha comentat amb anterioritat el cicle de conducció WLTP també té en consideració les emissions i l'energia gastada en els vehicles híbrids i elèctrics.

- OVC-HEV (vehicles híbrids recarregables)
- NOVC-HEV (vehicles híbrids no recarregables)
- PEV (vehicle purament elèctric)

Els vehicles comentats són considerats dins de la classe 3, el tipus de cicle 3a o 3b es fixat en funció de les característiques del vehicle, podent extreure posteriorment les emissions i altres paràmetres corresponents.

4.3.1.6 Implementació dels cicles en el model de simulació

En el model de simulació estan implementats tots els cicles de conducció explicats amb anterioritat, assignant a cada instant de temps la velocitat de referència que es vol que el model segueixi al llarg de tot el cicle de conducció. La següent il·lustració mostra els cicles de conducció incorporats en el model de simulació.




Il·lustració 18. Selector cicles de conducció en el model

Font: pròpia

Per l'elecció del cicle de conducció solament s'ha d'indicar en la casella de selecció el cicle de conducció que es vol simular, sent la sortida del bloc la velocitat de referència al llarg del temps.

La primera casella no correspon a cap cicle de conducció, solament és una velocitat consigna quan es vol que el vehicle segueixi una velocitat constant al llarg del recorregut.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3.2 Bloc de control del conductor

Una vegada s'ha establert el cicle de conducció que es vol realitzar en la simulació, ha d'haver-hi una transició entre la velocitat i la forma de control sobre el vehicle, aquesta és la principal funció d'aquest bloc, la simulació d'un conductor, el qual ha de decidir la força de propulsió que el sistema ha de realitzar en cada instant de temps.

Aquesta simulació del conductor es realitza mitjançant un controlador PI (proporcional-integral), les entrades d'aquest controlador seran la velocitat desitjada o de referència i la velocitat actual del vehicle, amb aquestes dues variables s'extraurà l'error del controlador.




Il·lustració 19. Bloc de simulació del conductor

Font: pròpia

La sortida del bloc de simulació del conductor serà la força teòrica que hauria de generar el sistema propulsiu, el sistema es capaç d'obtenir aquest canvi de magnituds físiques mitjançant les constants de proporcionalitat i integració del mateix sistema, amb uns valors de 750 per la constant de proporcionalitat i 50 per la constant d'integració.

En un controlador PI, la part proporcional del sistema, com bé indica, es proporcional al senyal d'error del sistema, multiplicant l'error en cada instant per la constant de proporcionalitat, a l'augmentar aquesta constant s'obté una resposta més directa del sistema, en termes del model actual s'obtindria un conductor més ràpid als comandaments, però l'augment excessiu d'aquesta també provoca una inestabilitat en el sistema.

Pel que fa a la part integral del sistema, la seva funció principal és l'acumulació de l'error entre la velocitat consigna del cicle de conducció i la velocitat actual, contra major sigui l'acumulació de l'error en el sistema major serà l'acció de la part integral, a l'augmentar la constant integral s'obté una resposta més estable en regim permanent però per contra també s'obté una resposta més inestable.

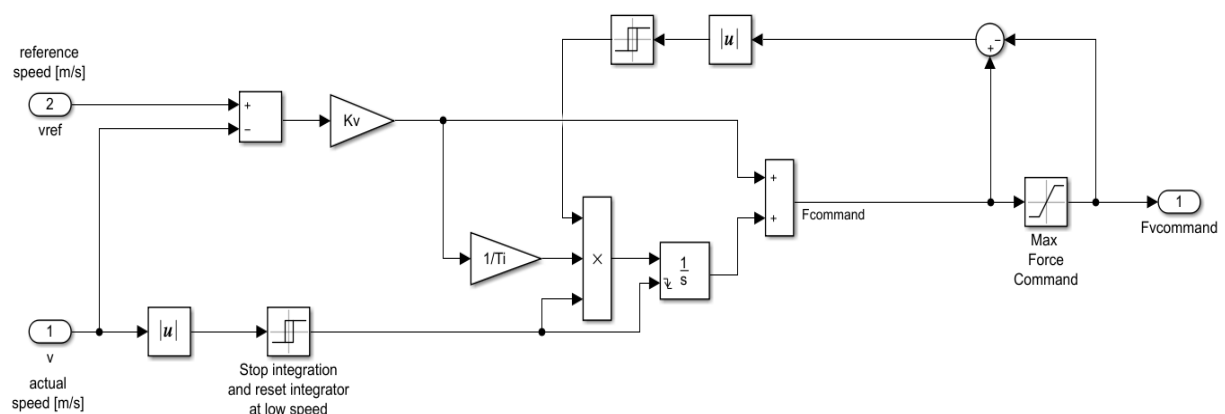
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

L'equació que determina la relació entre l'entrada i la sortida d'un controlador PI és la següent:

$$F(t) = Kp * e(t) + Ki * \int e(t)dt$$

Equació 1. Comportament controlador proporcional integral


A continuació es presenta el conjunt de blocs utilitzats per la implementació del controlador PI.



Il·lustració 20. Controlador PID

Font: pròpia

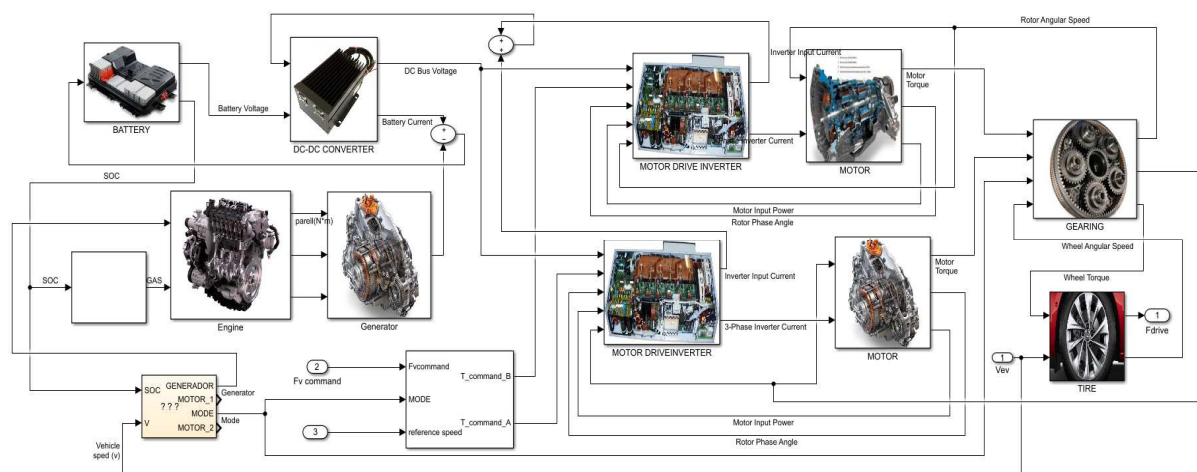
Com es pot observar en la il·lustració mitjançant les variables de la velocitat de referència i la velocitat actual del vehicle, s'obté la força teòrica necessària que ha de generar el sistema propulsiu del vehicle per a mantindre la velocitat establerta en el cicle de conducció, aquesta força de comandament es la que s'enviarà al sistema propulsiu del model de simulació.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3.3 Bloc de components del vehicle

Aquest bloc és l'encarregat de generar la força de tracció que el vehicle ha de produir mitjançant el senyal de força enviat pel controlador, el sistema propulsiu ha d'enviar aproximadament la mateixa força per a mantindre la velocitat que es desitja en cada instant de temps.

Les entrades que el caracteritzen són la velocitat del vehicle i la força que s'ha de generar, proporcionada pel controlador, i la sortida del bloc serà la força que realment produeix el sistema propulsiu del model.




Il·lustració 21. Blocs dels components del vehicle

Font: pròpia

El funcionament d'aquest bloc està dividit en les diferents parts que componen el sistema propulsiu del vehicle, que són les següents:

- Bateria
- Convertidor DC-DC
- Inversors dels motors elèctrics
- Motors elèctrics
- Sistema de transmissió
- Motor de combustió interna
- Generador elèctric
- Neumàtic

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3.3.1 Bateria

El model utilitzat per la representació de la bateria és un model senzill, la seva entrada és el corrent consumit pel convertidor DC-DC, i les seves sortides són l'estat de càrrega i el voltatge.

El voltatge de la bateria en el model té un valor de 355V, amb una capacitat de 16,5 kWh.

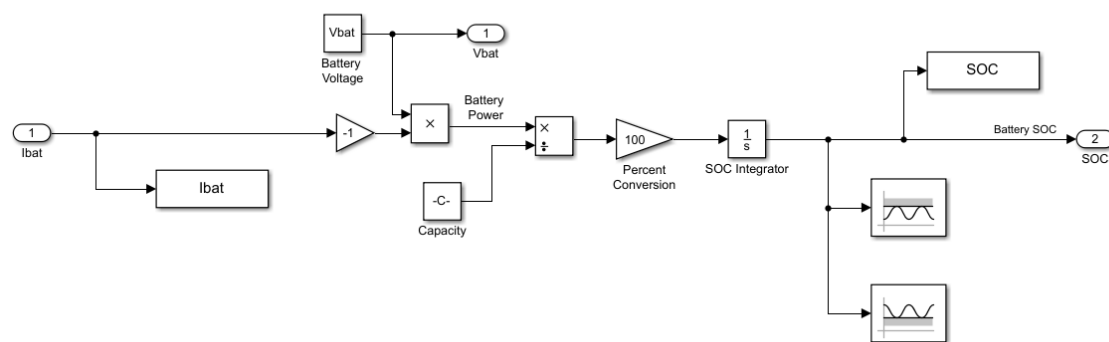
Principalment la funció d'aquest bloc és el càlcul de l'estat de càrrega de la bateria mitjançant la intensitat, el voltatge de la bateria i la capacitat d'aquesta.

La seva descàrrega està expressada en la següent fórmula, la qual realitza un tant per cent de l'energia extreta de la bateria i l'energia total emmagatzemada.

$$SOC(\%) = SOC_0 - \int_0^t \frac{V_{bat} * I_{bat}}{C} * 100 dt$$


Equació 2. Càlcul estat de càrrega de la bateria

La representació del model de la bateria i els blocs utilitzats es pot observar en la següent il·lustració.



Il·lustració 22. Model de la bateria

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3.3.2 Convertidor DC-DC

El model del convertidor DC-DC es una simulació d'un convertidor boost, el qual la seva principal funció és la d'augmentar el voltatge obtingut a través de la bateria.

Les entrades d'aquest bloc són la intensitat consumida per l'inversor del motor elèctric i el voltatge de la bateria, i les sortides són el voltatge rectificat, al valor que es desitgi que funcioni l'inversor del motor elèctric i la intensitat que realment absorbeix la bateria.

Aquesta rectificació del valor del voltatge, s'obté mitjançant el control del duty cycle del convertidor, el valor del duty cycle es obtingut mitjançant un controlador PWM, implementat d'una forma senzilla.

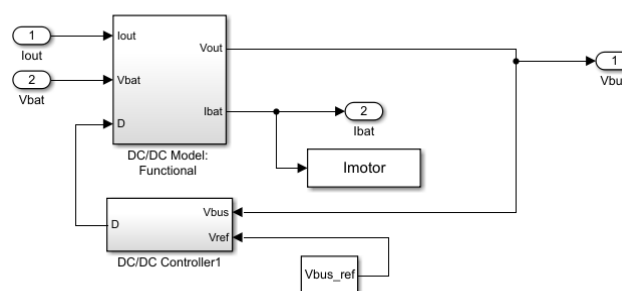
Un cop obtingut el duty cycle desitjat, es realitza un càlcul del corrent absorbit per la bateria i també es calcula el voltatge de sortida que serà transferit a l'inversor del motor elèctric, el model s'ha tingut en compte un rendiment del 98% del convertidor.

El càlcul del voltatge de l'inversor i la intensitat de la bateria són expressats en les següents equacions.

$$V_{out} = \frac{V_{bat}}{D} \quad I_{bat} = \frac{I_{inv}}{D}$$


Equació 3. Relacions voltatges i intensitats convertidor DC-DC boost

En la següent il·lustració es pot observar el model general del convertidor DC-DC present en el model de simulació.



Il·lustració 23. Bloc del convertidor DC-DC boost

Font: pròpia

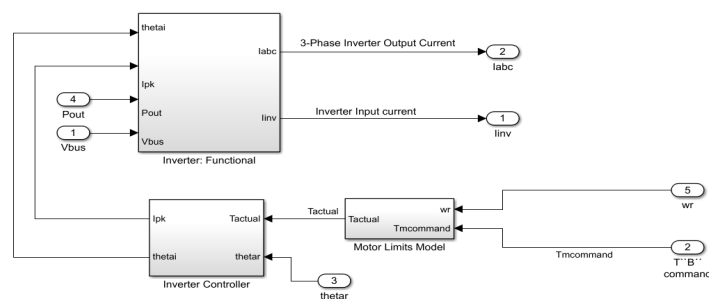
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3.3.3 Inversors dels motor elèctrics

La principal funció de l'inversor és la transformació del corrent en tres fases sinusoidals desfasades 120 graus entre elles, en el model de simulació es disposen de dos inversors, un pel control del motor 'A' i l'altre pel control del motor 'B', la implementació dels dos es exactament igual, l'única variant entre aquests dos, serà la forma de control per tal d'obtenir la força desitjada en els motors elèctrics, s'ha de tindre en compte que en aquest model de l'inversor no es tenen en compte el comportament dinàmic dels motors elèctrics, l'obtenció de la corrent es realitza des d'un punt de vista ideal. Les entrades principals en aquest bloc són la velocitat angular del motor elèctric, l'aproximació del parell que es vol que realitzi el motor elèctric, l'angle girat pel rotor del motor elèctric, el voltatge rectificat pel convertidor boost i la potència absorbida pel motor elèctric.


Pel que fa les sortides tenim la intensitat consumida per l'inversor i les tres fases de corrent que són generades en aquest bloc.

Per l'obtenció dels tres corrents desfasats que seran enviats al motor, primer de tot s'obté el valor pic d'aquest corrent, aquest valor s'era obtingut mitjançant una constant característica dels motors elèctrics que relaciona el parell proporcionat amb la intensitat, en el model s'ha considerat que aquest valor és de 0,407 Nm/A, mitjançant el controlador del conductor que indica la força o parell que s'ha realitzat i el conjunt d'engranatges, es sap el parell aproximat que haurà de generar el motor elèctric, un cop obtingut aquest valor de parell, mitjançant la constant de parell del motor elèctric s'obindrà el valor pic d'intensitat que ha de subministrar l'inversor al motor elèctric i seguidament es creen les tres fases desfasades 120 graus amb el valor pic obtingut, i amb la freqüència de gir del rotor. Pel càlcul de la intensitat de l'inversor es calcula mitjançant la potència consumida pel motor elèctric i el voltatge de funcionament de l'inversor, en el model s'ha tingut en compte un rendiment del 95% d'eficiència de l'inversor. En la següent il·lustració es pot observar el model general i els subsistemes de l'inversor del motor elèctric.



Il·lustració 24. Bloc inversors motors elèctrics

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3.3.4 Motors elèctrics

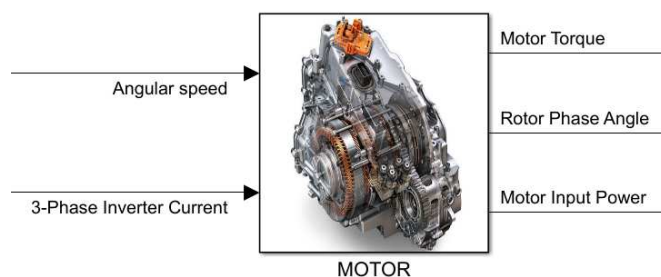
Els motors implementats en el model de simulació són del tipus PMSM, es a dir són motors asíncrons d'imants permanents que la seva alimentació es mitjançant tres fases de corrent alterna desfasades entre si, els imants permanents dels quals disposen els motors estan incorporats en el rotor, aquesta classe de motors són els més utilitzats en la propulsió de vehicles, sigui elèctrics o híbrids.

En el model, la implementació d'aquesta classe de motors es realitza de forma bastant simplificada, sense tindre present el comportament dinàmic del motor elèctric, malgrat això s'obté un comportament del motor bastant raonable i assimilable a un comportament real.

En la simulació s'han implementat dos motors elèctrics exactament amb el mateix funcionament però amb un rang d'operacions diferents, com és el cas de l'Opel Ampera, que també utilitza dos motors elèctrics de propulsió.


El bloc dels motors elèctrics està definit per les entrades de velocitats angular, que es obtinguda mitjançant la velocitat angular del neumàtic i la relació de transmissió del conjunt d'engrenatges, i l'altre entrada de control són les tres fases de corrent alterna generades per l'inversor.

Pel que fa a les sortides que caracteritzen el bloc estan definides pel parell obtingut a través del motor elèctric, l'angle girat pel rotor del motor elèctric i la potència total absorbida per aquest, en la següent il·lustració es pot observar el bloc general de control dels motors elèctrics.



Il·lustració 25. Bloc dels motors elèctrics

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

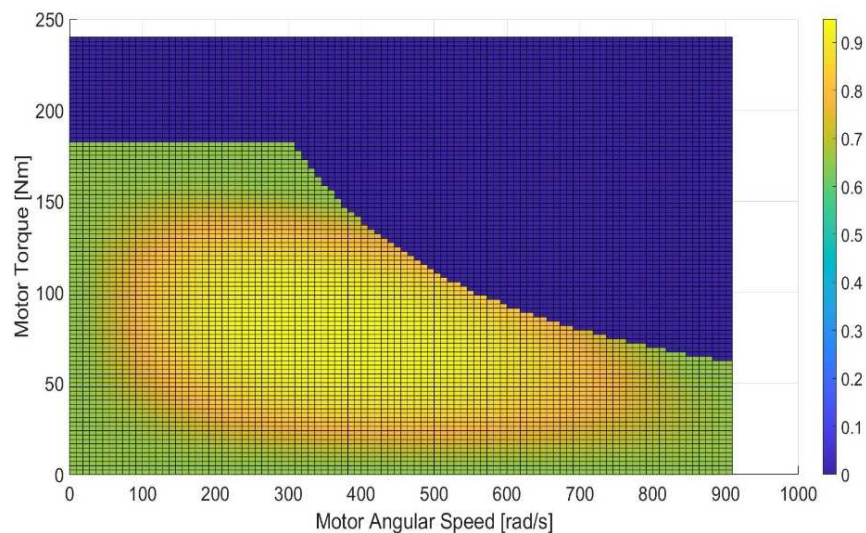
El funcionament principal d'aquest model es basa en la transformació de les tres fases de corrent en un parrell útil que serà l'utilitzat per al moviment del vehicle, mitjançant la constant de parrell podem transformar aquest corrents en parrell. Aquesta transformació de corrent a parrell és representada mitjançant l'equació escrita a continuació:

$$T_m = K_e * (I_a * \sin(\theta t) + I_b * \sin\left(\theta t - \frac{2\pi}{3}\right) + I_c * \sin\left(\theta t - \frac{4\pi}{3}\right))$$

Equació 4. Càlcul del parrell subministrat pel motor elèctric

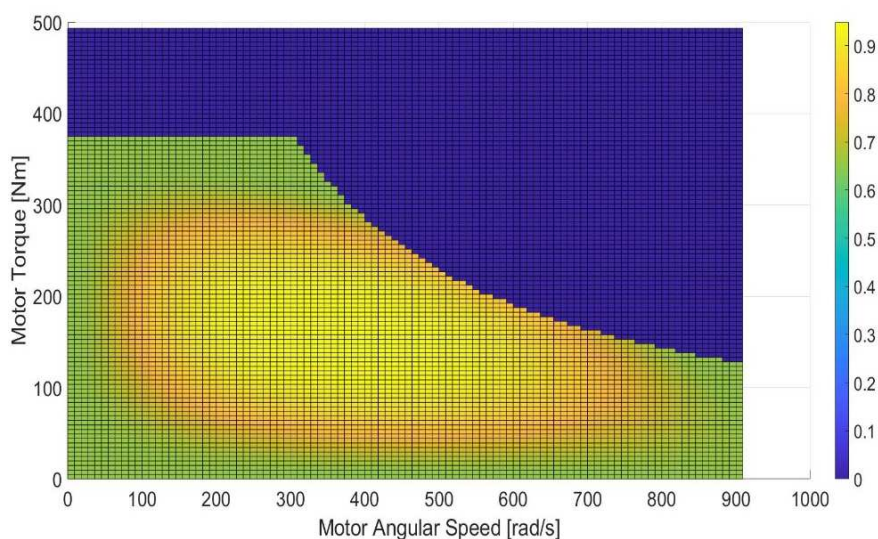
Una altra funció d'aquest bloc és el càlcul de l'angle girat pel rotor, aquesta operació es realitza coneixent la velocitat angular del rotor i posteriorment realitzant la integral de la velocitat angular, obtenint l'angle girat, aquest angle girat es utilitza pel càlcul de la freqüència en la generació de les tres fases de corrent generades per l'inversor.

Un cop obtinguda la velocitat de gir del rotor i el parrell que subministra el motor elèctric, es pot estimar l'eficiència del motor en tot el seu rang de funcionament mitjançant un mapa d'eficiència, aquest mapa d'eficiència ha estat obtingut mitjançant el del motor del Nissan Leaf, que també utilitza el mateix tipus de motors (PMSM), el que s'ha realitzat ha sigut un ajust en els eixos de parrell i velocitat de gir, aproximant el punt de màxima potència, i així obtenint una estimació de les eficiències en els dos motors amb especificacions de potència i parrell diferents.



Il·lustració 26. Mapa d'eficiència motor 'A'

Font: pròpia

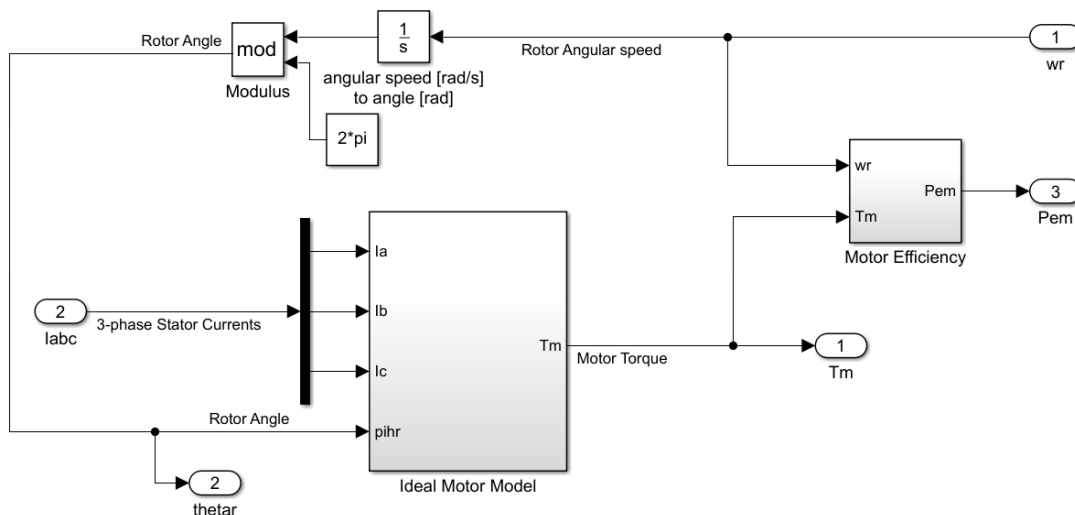


Il·lustració 27. Mapa d'eficiència motor 'B'

Font: pròpia


Estimada l'eficiència dels motors elèctrics, aquesta s'utilitza per a calcular la potència extra i per tant també l'increment de corrent que haurà de generar l'inversor tenint en compte aquesta pèrdua d'eficiència, per això una de les sortides del bloc és la potència consumida tenint present les pèrdues d'energia.

En la següent il·lustració es pot observar tot el funcionament del motor elèctric explicat en aquest apartat.



Il·lustració 28. Funcionament motors elèctrics

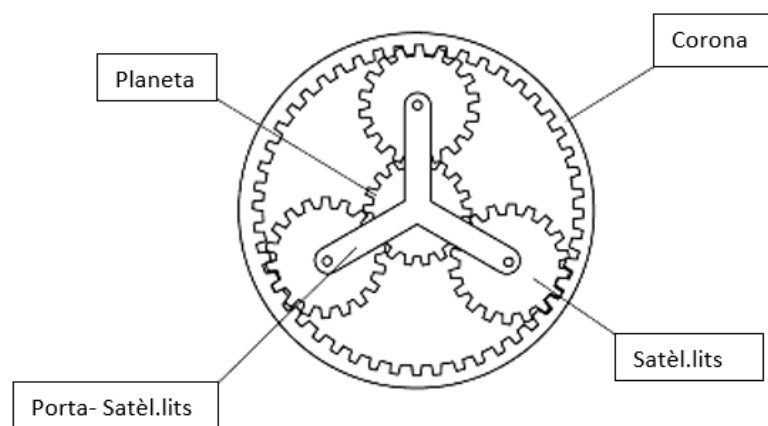
Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3.3.5 Sistema de transmissió

En el model de simulació, el sistema encarregat de transferir l'energia mecànica a les rodes, es basa principalment en la utilització d'un sistema de tren epicicloidal, també anomenat sistema planetari, que és el tipus d'engranatges el qual disposa l'Opel Ampera.

Un tren epicicloidal es un conjunt format per diferents engranatges que roten al voltant d'un engranatge central, els seus principals components són el planeta, els satèl·lits, el porta-satèl·lits i la corona. L'engranatge anomenat planetari, és l'engranatge central sobre el qual roten els diferents components.




Il·lustració 29. Parts tren d'engranatges epicicloidal

Font: [18]

La particularitat d'aquest tipus de sistemes d'engranatges, es que permet variar les relacions de transmissions dels engranatges en funció dels engranatges conductors i conduïts, es a dir depenent de l'entrada i de l'estat dels altres engranatges el sistema permet la variació de la relació de transmissió sense la modificació de cap component del tren d'engranatges, la principal avantatge d'aquest tipus de sistemes, es que permeten obtenir relacions de transmissions que amb trens simples no es podrien obtindre.

Aquest sistema permet obtenir cinc relacions diferents en funció de si es frena la corona, es frena el planeta, es frena el porta-satèl·lits, s'uneixen dos components o es permet que el sistema roti sense frena cap component.

Per la implementació del sistema d'engranatges en el model de simulació només es objecte d'estudi dues d'aquestes configuracions disponibles, la primera serà quan la corona es bloqueja, sent la seva velocitat angular zero, l'entrada del sistema el planeta i la sortida el porta-satèl·lits, aquest tipus de configuracions on es bloqueja un component reben el nom de trens simples.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

La segona configuració d'estudi serà quan el sistema permet la rotació de tots els seus components, aquest tipus de configuració dins dels engranatges planetaris es anomenada tren diferencial.

L'equació principal que relaciona les relacions de transmissió en els trens epicicloidals es la següent:

$$(C + P) * W_{ps} = (C * W_c) + (P * W_p)$$

Equació 5. Comportament d'un sistema d'engranatges epicicloidal

En el primer cas d'estudi, en el qual l'entrada s'efectua pel planeta, la sortida s'obté mitjançant el porta-satèl·lits i on es queda bloquejada la corona, i per tant la seva velocitat angular es igual a zero, la relació de transmissió resultant es la següent.

$$r_t = \frac{W_p}{W_{ps}} = \frac{C + P}{P}$$

Equació 6. Càlcul de la relació de transmissió d'un sistema epicicloidal

Amb aquesta equació podem observar que la relació de transmissió sempre serà major de 1, obtenint un major parell a la sortida i una reducció de la velocitat angular, en funció del nombre de dents de la corona i el planeta.

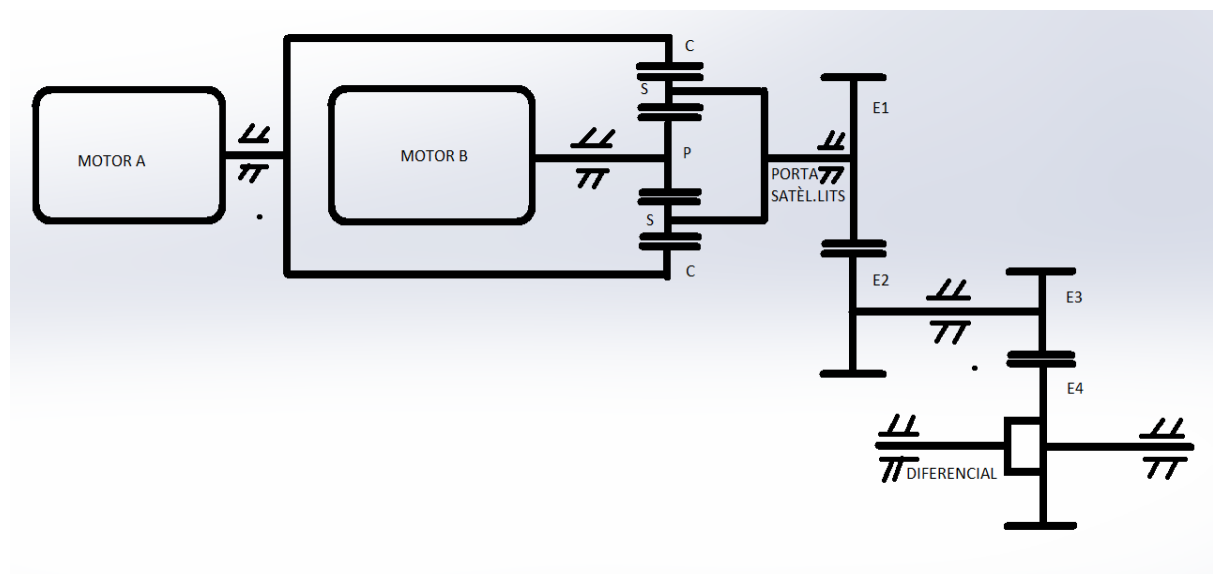
En el segon cas d'estudi no es bloqueja cap engranatge, sent les entrades del sistema el planeta i la corona, i per tant sent la sortida el porta-satèl·lits, amb aquesta configuració relativament senzilla s'obté el control de la velocitat de l'engranatge que ens dona la sortida, variant les velocitats de les dues entrades, es evident que també hi haurà relació entre el nombre dents dels diferents engranatges, exceptuant els satèl·lits que actuen com un engranatge entremig sense afectar el seu nombre de dents en la relació final.

La velocitat del porta-satèl·lits utilitzat com a sortida del sistema queda definit en la següent equació:

$$W_{ps} = \frac{(C * W_c) + (P * W_p)}{(C + P)}$$

Equació 7. Càlcul de la velocitat angular del porta-satèl·lits

Com ja s'ha comentat anteriorment en el model estan en funcionament dos motors elèctrics encarregats de transferir el parell a les rodes motrius, el motor B serà una de les entrades del sistema, estant unit a l'engrenatge planetari, la segona entrada sent el motor A de menor prestacions estarà connectat a la corona del sistema, i per tant la sortida de parell serà obtinguda mitjançant el porta-satèl·lits, en la següent il·lustració es presenten els diferents motors units als seus corresponents engranatges i el tren d'engrenatges final.




Il·lustració 30. Esquema del funcionament de sistema de transmissió de potència

Font: pròpia

En el model de simulació s'han utilitzat engranatges amb el mateix nombre de dents que en el sistema de l'Opel Ampera, obtenint aproximadament les mateixes relacions de transmissions finals, en la següent taula es detalla el nombre de dents de cada engranatge.

Engranatge	Nombre de dents
C	73
P	37
S	18
E1	79
E2	67
E3	31
E4	79

Taula 3. Caracterització del tren epicicloidal

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Mitjançant el nombre de dents dels diferents engranatges es poden obtenir les relacions de transmissió finals. En la primera configuració quan la corona es troba bloquejada s'obté la següent relació de transmissió del tren epicicloidal.

$$rt1 = \frac{C + P}{P} = \frac{73 + 37}{37} = 2,972$$

Equació 8. Càlcul de la relació de transmissió corona fixa

La relació del conjunt del tren d'engranatges situat a continuació del tren epicicloidal sempre es mantindrà fixa, sent la següent:

$$rt2 = \frac{67}{79} * \frac{79}{31} = 2,16$$

Equació 9. Càlcul relació de transmissió sistema d'engranatges secundari

Realitzat el producte entre les dues relacions s'obté la relació de transmissió total 6,42, en aquesta configuració de funcionament específic.

En el segon cas, en el qual tots els engranatges estan en moviment, la relació de transmissió serà variable en tot moment, ja que es varien les velocitats d'entrada, i per tant no es pot obtenir una relació de transmissió fixa com es l'altre cas.


Per la implementació del sistema d'engranatges en el model de simulació s'utilitzen les equacions explicades amb anterioritat.

Les entrades principals d'aquest bloc seran el parell generat pel motor elèctric B, el parell generat pel motor A, el mode de funcionament dels motors i la velocitat angular del neumàtic, i com a sortides tenim les velocitats angulars dels rotors dels dos motors, ja que estaran directament lligades amb les rodes segons la relació de transmissió.



Il·lustració 31. Bloc del sistema d'engranatges

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

La implementació d'aquest sistema d'engranatges s'ha dut a terme mitjançant el bloc de matlab function, mitjançant aquest bloc el sistema permet realitzar el càlcul de les variables de sortida, tenint en compte la variació de les variables d'entrada. Mitjançant la variable mode es decidirà quin es el funcionament dels dos motors. En el mode d'operació en qual es manté en funcionament solament el motor B i per tant la corona del sistema planetari es fixada, les relacions de parell obtinguda a la sortida i la velocitat angular del motor estan representades en les següents equacions.

$$Wb = \frac{110}{37} * 2,16 * Wr$$

Equació 10. Càlcul velocitat angular motor 'B'

$$Tf = \frac{110}{37} * 2.16 * 0.9 * Tb$$

Equació 11. Càlcul del parell total de sortida del sistema propulsiu mitjançant el mode purament elèctric


En el sistema planetari i el tren d'engranatges final, s'ha tingut en compte un rendiment mecànic aproximadament del 90%. En l'altre mode de funcionament el qual actuen els dos motors elèctrics, com ja hem dit no tenim una relació fixada, però es fa treballar el motor elèctric principal 'B', en un règim de revolucions fixades, sabent la velocitat de gir del motor B i realitzant un anàlisi del sistema mitjançant les potències d'entrada i sortides, es pot determinar quin es el parell de sortida del sistema i quina es la velocitat angular del motor secundari A. En les següents equacions es detalla quines són les relacions per obtenir el parell de sortida final del sistema d'engranatges i la velocitat de gir del motor A.

$$Wa = \frac{110Wps - 37Wb}{73}$$

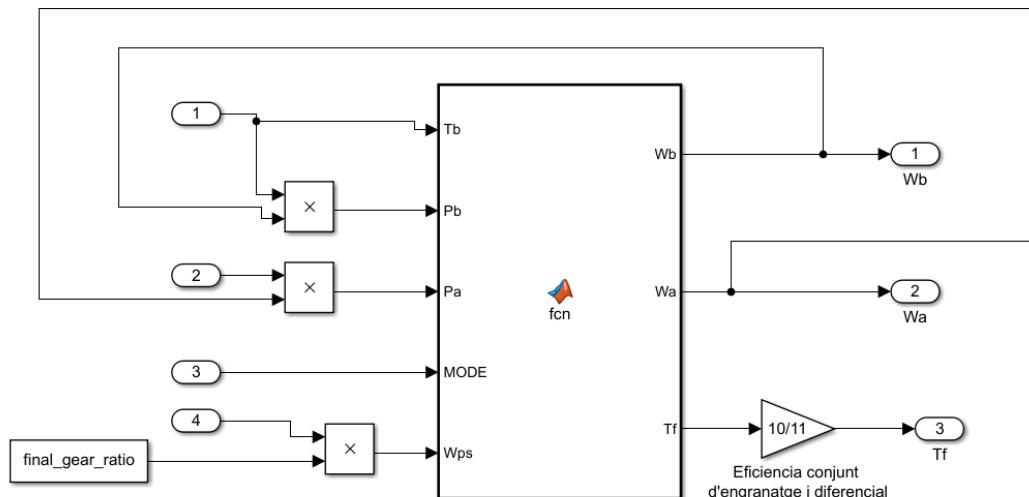
Equació 12. Càlcul velocitat angular motor 'A'

$$Tf = 2.16 \frac{Ta * Wa + Tb * Wb}{Wps}$$

Equació 13. Càlcul del parell total de sortida del sistema propulsiu mitjançant el mode combinat

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

En la següent il·lustració es pot observar la implementació dels blocs utilitzats per la creació del sistema d'engranatges.



Il·lustració 32. Funcionament sistema d'engranatges

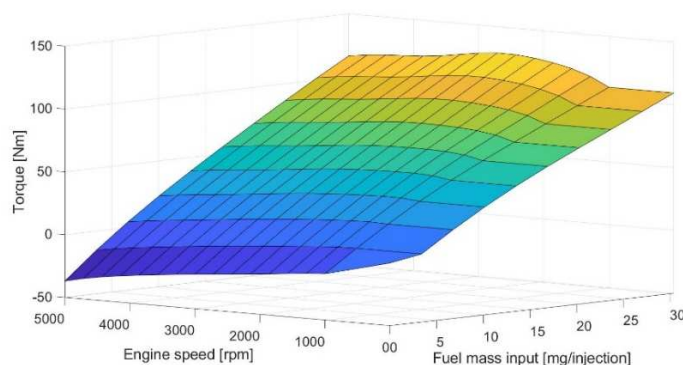
Font: pròpia

4.3.3.6 Motor de combustió interna

El bloc del motor de combustió es l'encarregat de subministrar un parell motor al generador, aquest motor es controlat mitjançant la variable de gas i la seva velocitat de gir, amb aquestes dues variables es controla el parell de sortida.

En la simulació del motor de combustió totes les dades han estat extretes a partir d'un bloc incorporat en el mateix programa de Matlab, que es una simulació d'un motor de combustió interna amb unes certes característiques específiques, que ens dona informació aproximada sobre el parell obtingut d'un motor, els consum de combustibles i les seves emissions entre d'altres.

Per aquesta implementació s'ha utilitzat una taula de dues dimensions, la qual en funció del combustible injectat, assimilable a la variable de quantitat de gas, i velocitat de gir ens dona un parell. En la il·lustració mostrada a continuació es pot observar aquesta taula de dues dimensions, que ens relaciona la quantitat de combustible injectat i la velocitat de gir del motor, amb el parell obtingut.

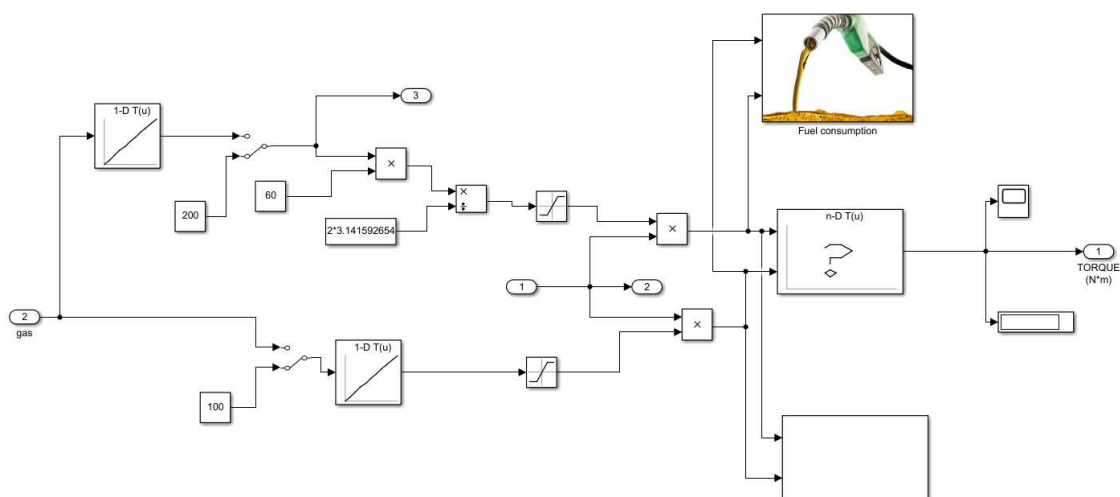


Il·lustració 33. Mapa de funcionament motor de combustió interna

Font: pròpia


El regim de gir del motor es aproximadament de 1000rpm a 5000rpm, pel que fa la injecció de combustible el seu rang es troba des de 5 mg/injecció fins a 30 mg/injecció, i per últim la variable de sortida, el parell, té un valor màxim de 129 N*m.

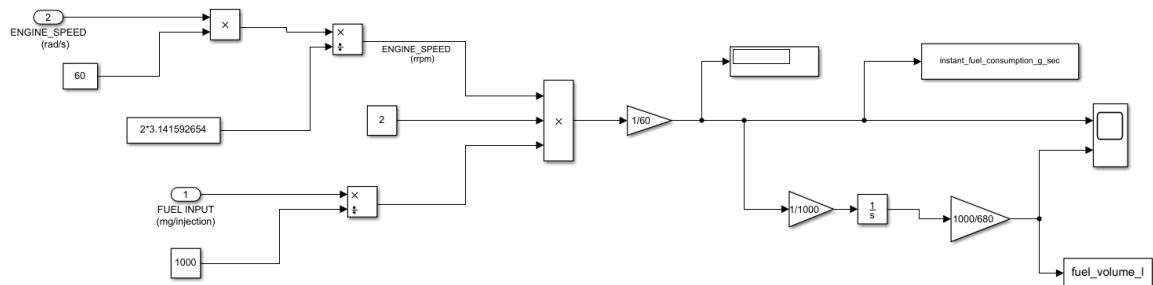
Aquest bloc també realitza altres operacions com són el càlcul del consum de combustible quan aquest es posa en funcionament i el càlcul aproximat de les emissions de NOx i CO₂, aquests valors són obtinguts de la mateixa manera que el parell en el motor de combustió, mitjançant una taula de dues dimensions i dues entrades, la velocitat de gir del motor de combustió i el combustible injectat, podem extreure la informació desitjada, les dades extretes sobre emissions i consums seran obtingudes de forma general, per obtenir una aproximació dels possibles resultats en la realitat.



Il·lustració 34. Funcionament motor de combustió interna

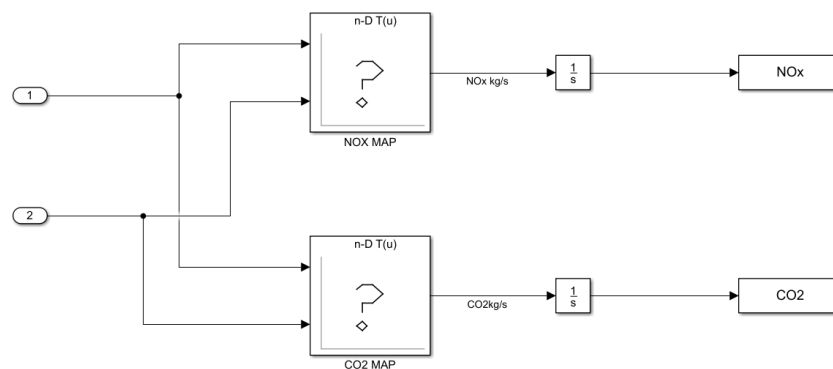
Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		



Il·lustració 35. Càlcul del consum de combustible

Font: pròpia



Il·lustració 36. Càlcul emissions NOx i CO₂

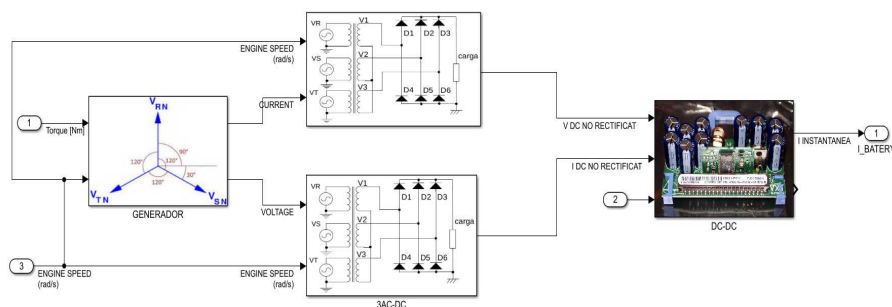
Font: pròpia

4.3.3.7 Generador elèctric

En el model implementat la principal funció del generador elèctric, és la transformació de l'energia mecànica provinent del motor de combustió en una energia elèctrica, emmagatzemada a través del sistema de bateries incorporat en el vehicle.

El funcionament dels generadors en el Opel Ampera es realitza mitjançant un generador asíncron d'imants permanents que genera tres corrents desfasats entre si, la implementació d'un model d'aquest tipus de màquines es d'una complexitat elevada, per aquest motiu la implementació d'aquest sistema en el model es realitza de forma generalitzada.

En la creació del model podem diferenciar tres etapes de transformació d'energia, la primera etapa es basa en la transformació del parell provinent del motor de combustió en tres fases de corrent elèctric, un cop obtingut les tres fases de corrent alternes desfasades, aquest es rectifica en un corrent continu mitjançant un convertidor trifàsic no controlat, un cop obtingut un corrent continu es torna a realitzar una altra rectificació mitjançant un convertidor DC-DC boost, que controla el voltatge de sortida per adaptar-lo als 355V subministrats per la bateria.

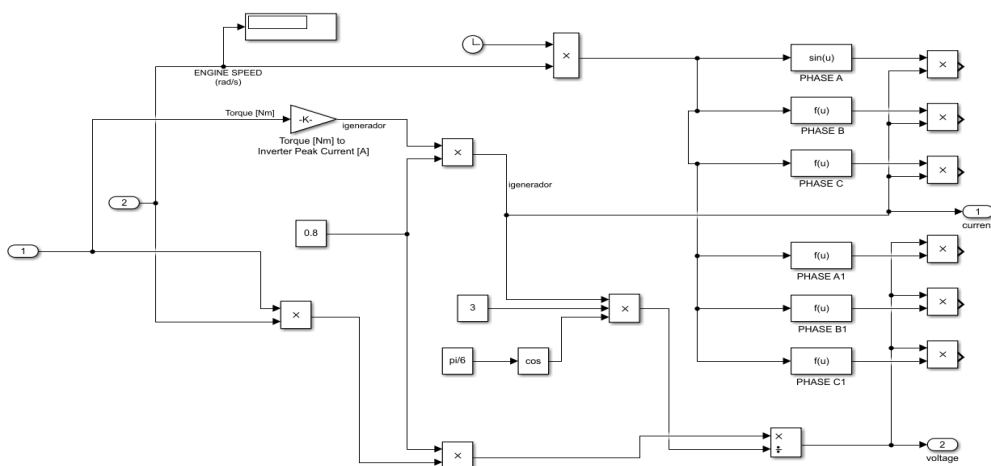


Il·lustració 37. Esquema funcionament complet del generador

Font: pròpia


La implementació de la primera part del generador en la qual es transforma l'energia mecànica en energia elèctrica es realitza mitjançant una constant de parell i corrent, la qual en funció del parell obtingut realitza una estimació del corrent generat, molt semblant a la implementació dels motors elèctrics com ja s'ha explicat anteriorment.

Un cop s'obté el corrent entregat pel generador, mitjançant un equilibri de potències entre la potència mecànica i la potència elèctrica podem obtenir una aproximació del voltatge entregat pel generador elèctric, tenint el compte el seu rendiment, posteriorment aquest corrent i aquest voltatge de pic es transformen en tres ones sinusoidals desfasades 120 graus entre si, i oscil·lant amb la mateixa freqüència que proporciona la velocitat angular de gir del motor de combustió interna.



Il·lustració 38. Funcionament generador elèctric

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Per la modelització del rectificador trifàsic no controlat, s'ha optat per la seva implementació mitjançant les equacions de les formes d'ones que descriuen aquest tipus de rectificadors, aquestes equacions s'obtenen mitjançant un anàlisi de Fourier, descrites a continuació.

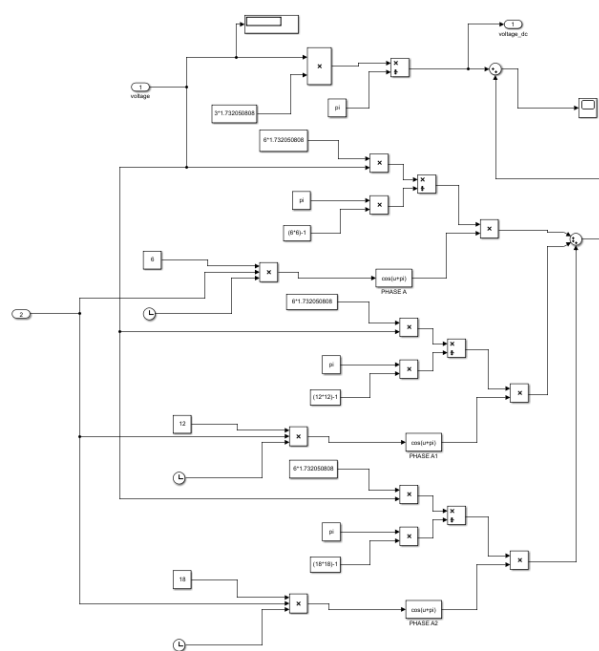
$$V_{dc} = V_l * \frac{3 * \sqrt{2}}{\pi}$$

Equació 14. Càlcul voltatge mitja proporcionat pel rectificador trifàsic

$$V_o(t) = V_{dc} + \sum_{n=6,12,18}^{\infty} V_n * \cos(n\omega t + \pi)$$

$$V_n = \frac{6 * V_{llmax}}{\pi * (n^2 - 1)} \quad n = 6, 12, 18 \dots$$


Equació 15. Càlcul del voltatge proporcionat pel rectificador trifàsic



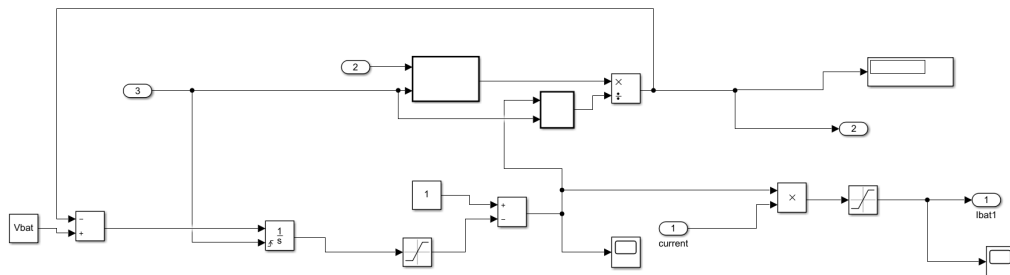
Il·lustració 39. Funcionament convertidor trifàsic

Font: pròpia

Per realitzar l'última conversió d'energia s'utilitza un convertidor DC-DC boost, aquest tipus de convertidors ja ha estat explicat amb anterioritat i la implementació d'aquest es molt similar, la seva principal funció és la de rectificar el voltatge proporcionat pel rectificador trifàsic en un voltatge constant de 355V.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

En la següent il·lustració es pot observar la implementació d'aquest convertidor DC-DC.



Il·lustració 40. Funcionament convertidor DC-DC boost

Font: pròpia

4.3.3.8 Neumàtic

Aquest subsistema del model dels components del vehicle, simplement transforma el parell final aplicat a la roda en una força i calcula la velocitat angular a la qual gira la roda, que es utilitzada pel càlcul de la velocitat de gir del rotor dels motors elèctrics. Com a entrades d'aquest bloc tenim el parell que dona el sistema d'engranatges i la velocitat lineal del vehicle, i les sortides són la velocitat angular de la roda i la força aplicada al neumàtic. Mitjançant el radi del neumàtic s'obtenen les relacions de força i velocitat de sortida desitjades, aquestes relacions estan representades en les següents equacions.

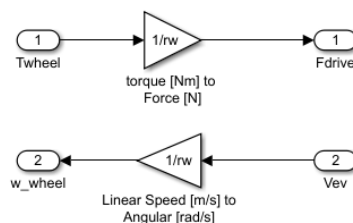
$$F_a = \frac{T_f}{R_w}$$

Equació 16. Càlcul de la força subministrada al neumàtic

$$\omega_r = \frac{V_{veh}}{R_w}$$


Equació 17. Velocitat de gir de la roda

En la següent il·lustració es pot observar les operacions realitzades en el model del neumàtic.



Il·lustració 41. Transferència de força i velocitat al neumàtic

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3.4 Bloc de l'entorn de simulació

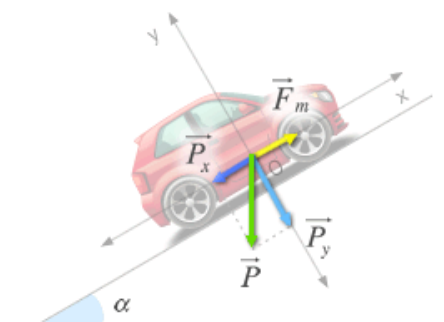
En el procés de simulació del vehicle, una de les parts importants es la consideració de forces externes que actuen sobre el vehicle, aquestes forces les anomenarem forces del medi, es important que en el model s'incloguin les equacions físiques que determinen els fenòmens de les forces del medi. Degudes a aquestes forces de resistència, el sistema propulsiu del vehicle ha de generar més potencia per a poder moure el vehicle a la mateixa velocitat, però alhora sense alguna d'aquestes forces que produeixen que s'hagi de generar més treball, seria impossible el moviment del vehicle, com es el cas de les forces de fregament entre el neumàtic i la superfície de contacte, ja que sense aquesta força contraproduent no es produirà el desplaçament del vehicle.

Les principals forces del medi que actuen sobre el vehicle són:

- Força gravitatòria a causa de pendent
- Força aerodinàmica
- Força de resistència al rodament

4.3.4.1 Força gravitatòria

La força gravitatòria que actua sobre un vehicle es produïda principalment quan el vehicle circula per un pendent, provocant que el vehicle haguí de generar un treball per vèncer aquesta força. Si considerem aquesta força com a P_x , aquesta es directament proporcional al pendent de la carretera i a la massa total del vehicle.



Il·lustració 42. Forces aplicades sobre el vehicle durant una pendent

Font: [23]

$$P_x = Mv * g * \sin\alpha$$

Equació 18. Càlcul força gravitatòria que actua sobre el vehicle en una pendent

4.3.4.2 Força aerodinàmica

La força aerodinàmica que experimenta un vehicle, es causada pel moviment del cos a través de l'aire, aquesta força resistiva tindrà la mateixa direcció que la velocitat relativa del vehicle, però sempre tindrà sentit contrari, produint una resistència al desplaçament del vehicle.

De manera bastant aproximada la força aerodinàmica aplicada sobre un vehicle està descrita per la següent equació.

$$D = \frac{1}{2} * Cd * \rho * S * V_{veh}^2$$

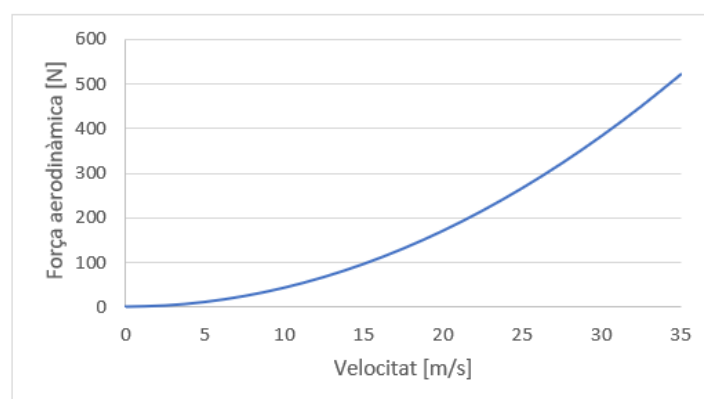
Equació 19. Càlcul força aerodinàmica aplicada sobre el vehicle

Com es pot observar en la formula, l'única variable que dependrà del temps serà la velocitat tots els altres termes seran constants, per tant la major incidència sobre aquesta força resistiva la tindrem en el terme quadràtic de la velocitat. Pel nostre model de simulació, els paràmetres que depenen del vehicle, els hem escollit del Opel Ampera, en la taula següent es poden observar els valors escollits per els diferents paràmetres en la formula de la força aerodinàmica.

Paràmetre	Valor
Cd (coeficient aerodinàmic)	0,28
S (superficial frontal)	2,54 [m ²]
ρ (densitat de l'aire)	1,20 [kg/m ³]


Taula 4. Dades per el càlcul de la força aerodinàmica

Per aquests valors considerats l'evolució de la força aerodinàmica en funció de la velocitat és la següent.



Il·lustració 43. Evolució de la força aerodinàmica en funció de la velocitat

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3.4.3 Força de rodament

La força de rodament està present en tots els cossos que roden sobre una superfície determinada, en el cas d'un vehicle degut a que els materials no són ideals es produirà una deformació entre el neumàtic i la superfície, creant una àrea de contacte entre aquests dos, per tant en cap cas es pot considerar el neumàtic com un sòlid rígid sobre una superfície també rígida, perquè llavors no es produirà ningun fenomen de rodadora.

Aquesta força de rodament està caracteritzada pel coeficient de rodament, es un coeficient símil al coeficient de fricció quan un cos experimenta una força de fricció sobre una superfície plana, i es produeix un lliscament.

En un vehicle, el coeficient de rodament, no és un paràmetre constant al llarg del temps, sinó que depèn del lliscament que pateixen els neumàtics en cada moment, en el model de simulació no es té en compte aquest paràmetre de lliscament, per tant s'ha considerat que el coeficient de rodament és constant al llarg del temps, amb un valor de 0,02.

La força de resistència al rodament es pot expressar amb la següent equació.

$$Fr = Cr * Mv * g = Cr * N$$

Equació 20. Càlcul de la força degut a la rodadora del vehicle


Cal destacar que la força normal experimentada sobre cada neumàtic tindrà una variació en funció de les acceleracions tangencials i longitudinals, produint en tot moment una variació de les forces normals exercides en cada neumàtic i per consegüent una variació de la força de resistència a la rodadora.

Per obtenir un model del bloc dinàmic més simplificat, en el model de simulació no es té en compte la transferència de massa entre els diferents eixos del vehicle, considerant que sempre actuen les mateixes forces normals de reacció.

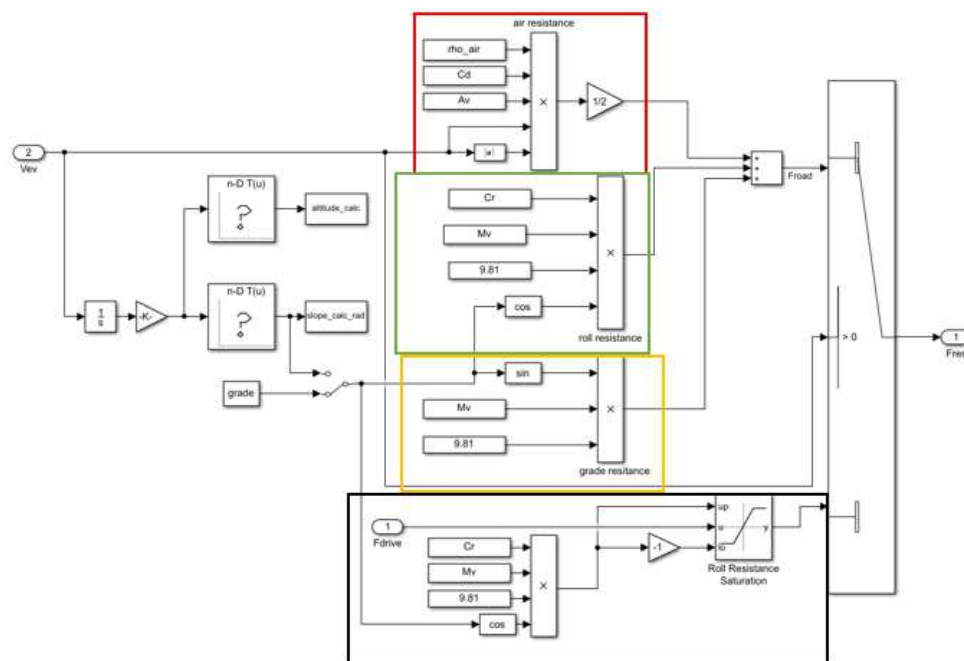


Il·lustració 44. Bloc forces externes

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Per la implementació en el model de totes les forces del medi, s'han considerat els apartats explicats amb anterioritat, en la següent il·lustració es pot observar tot el conjunt del bloc de simulació de l'entorn del vehicle en el model corresponent.



Il·lustració 45. Funcionament bloc forces externes


Font: pròpia

Com es pot observar les úniques dues variables dependents del temps, que s'utilitzen per a la simulació de l'entorn són la velocitat i la força procedent del sistema propulsor del vehicle.

El rectangle que emmarca la zona vermella representa la força aerodinàmica, com ja s'ha explicat amb anterioritat depenen de la velocitat, l'àrea frontal, la densitat i el coeficient aerodinàmic.

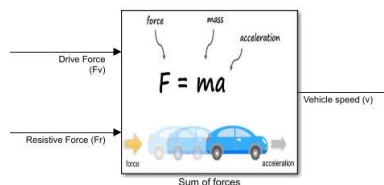
La zona verda del model fa referència a la força de resistència al rodament, que es funció de la força normal experimentada pels neumàtics i el coeficient de rodament, i la zona emmarcada en groc representa la força gravitatòria en un pendent, que depèn de la massa del vehicle i de la inclinació de la carretera.

Pel que fa a la zona emmarcada en negre es la representació en el model per quan el vehicle comença a circular, es a dir la seva velocitat es més gran que zero, per això el sistema propulsiu ha d'exercir una força d'un valor mínim a la força de rodadora, quan aquesta força que exerceix el sistema propulsiu és més gran que la força de rodadora, la simulació comença a treballar amb la part superior del model.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

4.3.6 Bloc sumatori de forces

Aquest bloc que incorpora el model de simulació, té la funció principal de determinar la velocitat instantània del vehicle en el transcurs de tot el temps de simulació. El seu funcionament es relativament senzill, gràcies a la facilitat que té el programari de simulació utilitzat per realitzar certes operacions determinades, com es el cas d'una integració.



Il·lustració 46. Bloc sumatori de forces

Font: pròpia

Per a l'obtenció de la velocitat instantània s'utilitza la segona llei de newton, la qual exposa que l'acceleració que actua sobre un cos es directament proporcional a les forces aplicades sobre aquest, sabent les forces que actuen en el nostre model de simulació, que són la força transmesa pel sistema propulsiu i les forces degudes al medi explicades amb anterioritat, es pot determinar la velocitat instantània del vehicle. Seguidament es mostra la determinació de la velocitat del vehicle de forma teòrica.

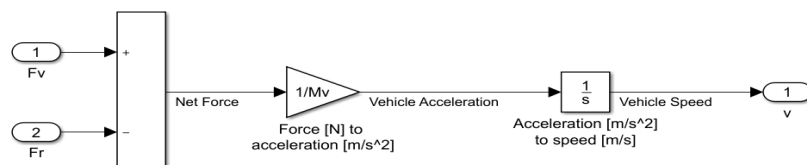
$$F = Mv * a = Mv * \frac{dv_{veh}}{dt}$$

$$\int_0^t \frac{F}{Mv} dt = \int_0^v dv_{veh} \quad v_{veh} = \int_0^t \frac{F}{Mv} dt$$

Equació 21. Càlcul de la velocitat lineal del vehicle


Font: pròpia

En la següent il·lustració es pot observar el conjunt d'operacions per a extreure la velocitat instantània del vehicle en el model de simulació, com es pot observar el programa permet realitzar operacions complexes amb una gran facilitat d'implementació, com es el cas de la realització de la integral.



Il·lustració 47. Funcionament del bloc per extreure la velocitat del vehicle

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

5. Estratègia de control dels motors

En aquest apartat es tractaran les estratègies que s'han decidit pel control dels dos motors elèctrics i del motor de combustió interna-generator, són implementacions que intenten assimilar el màxim el comportament real del funcionament del Opel Ampera, a causa de la falta d'informació específica en cada funcionament, s'han pres decisions sobre el funcionament de les quals no es disposava informació al respecte.

5.1 Control dels motors elèctrics


Mitjançant la implementació del funcionament del sistema propulsiu del vehicle amb dos motors elèctrics, s'ha de realitzar un control sobre aquests dos motors per a obtenir el parell desitjat per a ser enviat a les rodes.

Per la implementació d'aquest controlador es busca que els dos motors elèctrics treballin de forma més eficient, obtenint un menor consum energètic de les bateries en el transcurs de la simulació.

Aquest augment de les eficiències en els motors elèctrics s'obté fent treballar el motor elèctric principal, de prestacions més elevades, en una zona de treball més eficient i com a conseqüència aprofitant millor la transformació d'energia elèctrica en energia mecànica, mantenint el seu regim de treball de forma permanent, sempre que la velocitat estigui per sobre de 100km/h, fent treballar el tren epicicloidal com a tren diferencial, si no es així, el sistema mantindrà una relació de transmissió fixa amb un control només sobre el motor principal, i variant l'eficiència d'aquest en funció de la seva velocitat de gir i el parell proporcionat.

Fent treballar el motor principal en un regim òptim i estacionari, aquest proporcionarà una potència a les rodes constant, mentre que amb l'altre motor elèctric, el que es pretén, és que la potència necessària restant obtinguda pel controlador PI, que envia la força teòrica necessària que ha de generar el sistema propulsiu per a mantindre la velocitat establerta en el cicle de conducció, sigui proporcionada per aquest, augmentant i disminuint constantment el parell i la seva velocitat angular del motor A.

Amb aquesta estratègia de control s'espera obtenir una millora de les eficiències de treball dels motors elèctrics, ja que el motor principal de major prestacions treballarà en un regim òptim de condicions, sent el motor secundari el que proporioni el parell restant necessari, i de menor requeriments.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Pel control dels motors elèctrics podem diferenciar dos modes de funcionament com ja s'ha explicat amb anterioritat. Aquests dos modes d'operació estaran en funcionament depenent de la velocitat del vehicle, si la velocitat del vehicle es inferior a 100km/h, el model treballarà amb un motor elèctric, d'altra banda quan la velocitat del vehicle sigui superior a 100km/h treballaran els dos motors elèctrics amb la finalitat d'augmentar l'eficiència.

El primer mode de funcionament, el qual la velocitat del vehicle es inferior a 100km/h, el parell subministrat pel motor elèctric principal vindrà donat pel controlador i la relació de transmissió, recordem que amb aquest mode de funcionament el tren epicicloidal només obtindrà parell a través de l'engranatge planeta, i la sortida del parell serà obtinguda a través del porta-satèl·lits, obtenint una relació de transmissió fixa total igual a 6,64, tenint present també en aquesta relació de transmissió el tren d'engranatges final el qual disposa el sistema.

Tenint en compte les pèrdues mecàniques estimades en el sistema d'engranatges, el parell que haurà de subministrar aquest motor en aquest funcionament vindrà donat per la següent equació:

$$T_{cb} = \frac{1,1 * F_{vc} * r_w}{2,972 * 2,16}$$

Equació 22. Càlcul del parell de control del motor elèctric


En el segon mode de funcionament, el sistema de propulsió permet obtindrà energia mecànica a través de dos motors elèctrics treballant conjuntament.

Aquest sistema sobre el control dels dos motors es degut principalment a l'augment de l'eficiència de treball del motor elèctric principal, ja que si reduïem la velocitat angular a la qual funciona el motor elèctric augmentem la seva eficiència, es a dir, es pretén mitjançant un altre motor elèctric, fer treballar el motor principal en una zona d'una eficiència elevada.

Com ja s'ha explicat, aquest segon mode de funcionament entrarà en acció quan la velocitat del vehicle sigui superior a 100km/h.

Per decidir quines seran les condicions de funcionament del motor principal s'ha realitzat un càlcul sobre la potència mínima necessària perquè el vehicle mantingui una velocitat constant de 100km/h.

Aquesta potència es calculada mitjançant totes les forces que suposen al moviment del vehicle com són l'aerodinàmica, la de rodament i la força degut a una pendent, el càlcul d'aquesta potència necessària es realitza en les condicions en les quals el pendent de la superfície es zero.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

$$Fres_{100} = Fr + D$$

$$Fres_{100} = Mv * 9,81 * Cr + \frac{1}{2} Cd * S * \rho * Vveh^2$$

$$Fres_{100} = 1982 * 9,81 * 0,02 + \frac{1}{2} * 1.204 * 0,28 * 2,5417 * 27,77^2 = 719,25 \text{ N}$$

Equació 23. Càlcul de les forces de resistència a una velocitat de 100km/h

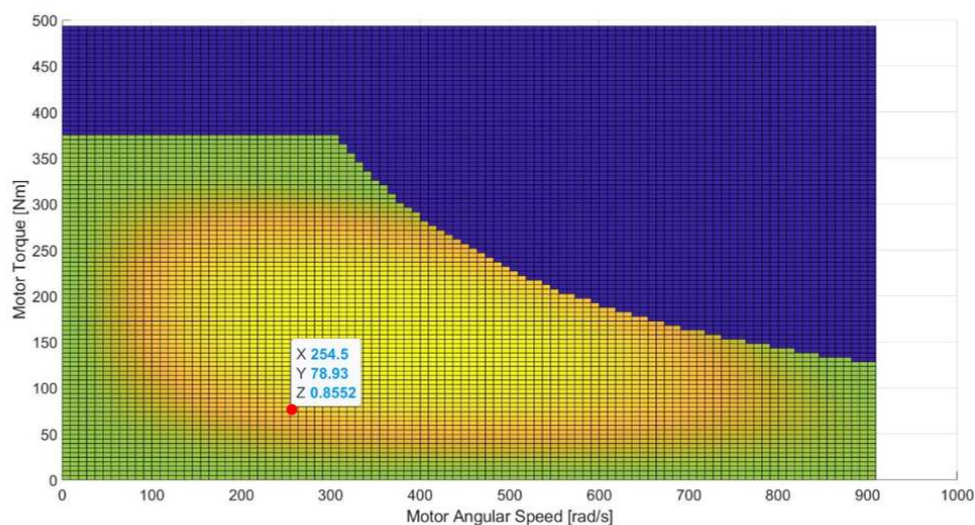
$$P = Fres_{100} * Vveh = 719,25 * \frac{100}{3,6} = 19,9 \text{ kW}$$

Equació 24. Càlcul de la potència requerida per mantindre una velocitat de 100km/h

Per tant la potència necessària que haurà de subministrar el sistema propulsiu haurà de ser aproximadament de 20 kW repartits entre els dos motors elèctrics, per mantindre la velocitat constant en un valor de 100km/h.


La decisió que s'ha pres sobre el funcionament dels motors elèctrics en aquest mode de funcionament, ha estat que el motor principal sempre subministri una potència de 19,5 kW, mentre que la potència restant sempre serà subministrada pel segon motor de menor prestacions, per tant en estats de velocitats superiors a 100km/h el motor B treballarà de forma estacionària, mentre que la potència restant per assolir la velocitat serà subministrada pel motor A, de menor prestacions.

Mitjançant el mapa d'eficiència, s'ha buscat una zona en la qual l'eficiència del motor B sigui elevada, i la potència subministrada per aquest sigui igual o el més pròxim a un valor de 19,5kW.



Il·lustració 48. Zona de treball motor 'B'

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Tenint en compte l'eficiència del motor elèctric s'ha decidit que les condicions de treball siguin d'una velocitat angular de 250 rad/s i un parell subministrat de 78,5 Nm, el control del parell es realitza directament mitjançant el control del corrent elèctric, controlat en tot moment per l'inversor del vehicle, però cal remarcar que en el nostre model la consigna de velocitat és una constant, però per realitzar un control més real del model, s'hauria d'implementar un control en la modulació de l'amplada dels polsos, sistema anomenat PWM, que controlés el voltatge subministrat per l'inversor al motor i així poder establir un control sobre la velocitat angular de gir del motor elèctric. Les equacions que governen el controlador en aquest segon mode de funcionament són les escrites a continuació:

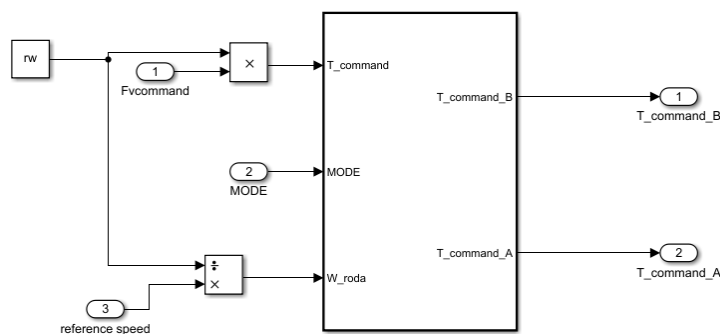
$$T_{cb} = 78,5$$

$$T_{ca} = \frac{((Wr * Tc * 1,1) - (T_{cb} * 250))}{\frac{1}{73} * ((110 * 2,16 * Wr) - (37 * 250))}$$

Equació 25. Equacions de control sobre el control dels motors elèctrics


Aquestes equacions han estat extretes de les equacions que representen el funcionament del tren epicicloidal, explicats en capítols anteriors. La seva funció es enviar una senyal constant de parell al motor B, i sabent la relació entre el parell proporcionat pel motor A i el parell obtingut a la sortida mitjançant la combinació dels dos parells proporcionats pels dos motors elèctrics, realitza el càlcul del parell necessari que ha de produir el motor elèctric A, perquè el parell proporcionat pels dos motors elèctrics sigui igual al parell total proporcionat pel controlador PI del conductor, per establir la velocitat consigna del cycle de conducció. En el càlcul d'aquests parells necessaris que han de generar els motors elèctrics es té en compte una eficiència dels engranatges amb un valor constant del 90%

La implementació d'aquest controlador dels motors elèctrics ha estat realitzada mitjançant el bloc Matlab Function, el qual envia el parell necessari a cada motor. En la següent il·lustració es pot observar la implementació del controlador explicat anteriorment.



Il·lustració 49. Funcionament bloc de control dels motors elèctrics

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

5.2 Control del motor de combustió

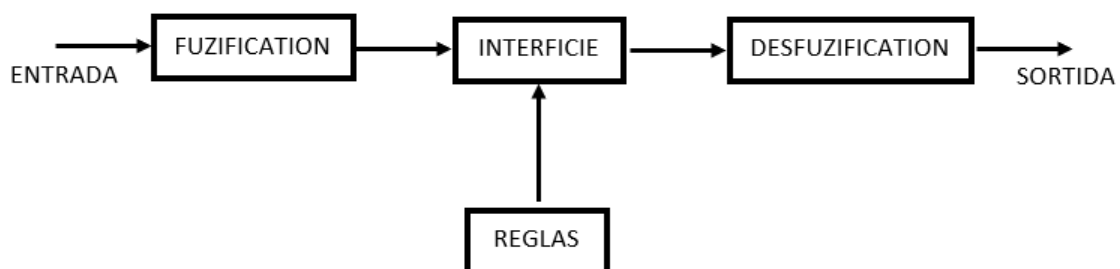
La implementació del controlador del motor de combustió s'ha realitzat mitjançant un fuzzy control, també anomenat sistema de control de lògica difusa, el qual en funció de la velocitat de càrrega i descàrrega de les bateries dona com a sortida el senyal de comandament de l'accelerador per controlar el motor de combustió interna.

Un sistema de lògica difusa es basa en un comportament molt diferent de la lògica clàssica, en la qual només existeixen dos valors o dos estats de veracitat, verdader i fals. La lògica difusa pretén establir un rang de veracitat en cada un dels estats possibles, es a dir, un estat pot prendre una part de valor verdader i una altra part de valor fals, amb aquesta lògica els estats poden prendre valors compresos entre 0 i 1.

Amb aquesta classe de controladors es pretén discretitzar cada un dels estats possibles en funció del valor de veracitat de cada un d'aquests, obtenint valors parcials de veracitat.

Els sistemes de lògica difusa són utilitzats per l'automatització de processos, els quals es controlen variables específiques sabent la resposta sobre el procés. Aquest tipus de sistemes es basen en l'establiment de regles o lleis per adaptar les variables de sortida.


En la implementació d'un sistema de lògica difusa podem establir diverses etapes mostrades en la següent il·lustració.



Il·lustració 50. Esquema general del funcionament d'un controlador fuzzy

Font: pròpia

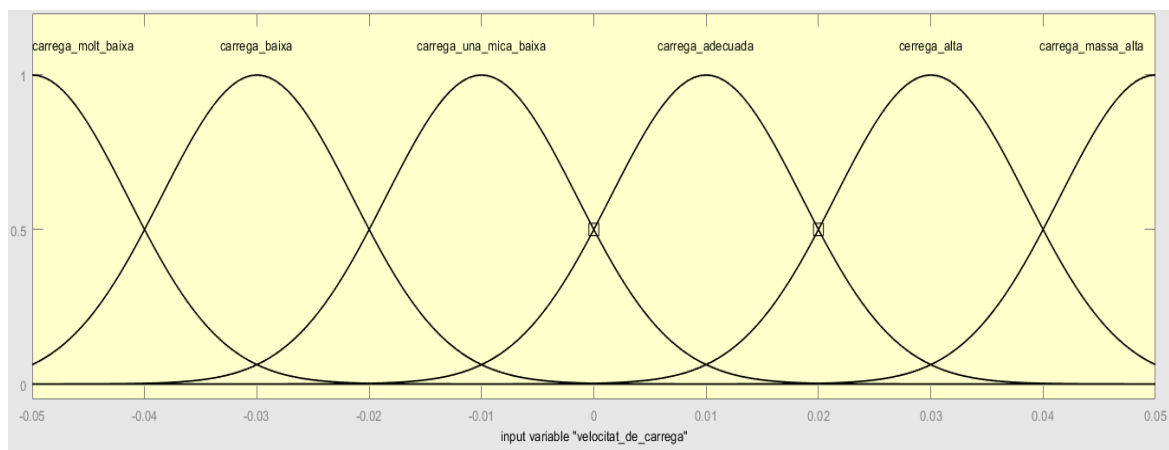
S'ha decidit realitzar la implementació d'un model fuzzy pel control del motor de combustió interna, degut a que són sistemes que la senyal de sortida s'efectua de forma més progressiva, si s'hagués implementat un controlador PID, la senyal de sortida obtinguda seria molt més ràpida produint més alteracions en el motor de combustió, per tant s'utilitza el sistema fuzzy per obtenir un control més suau i progressiu del motor de combustió interna.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

En el model implementat, l'entrada està representada per la velocitat de càrrega i descàrrega de la bateria, la qual es vol que es mantingui en un règim aproximat d'entre 0% i 1% de càrrega per cada minut, cal tenir en compte que hi haurà moments en què la capacitat del generador no serà capaç de subministrar la quantitat d'energia que s'està consumint pel motor elèctric, tenint valors de velocitat de càrrega i descàrrega bastant inferiors a 0, però aquesta situació només succeirà en poques ocasions, com es el cas de grans acceleracions, també cal remarcar que alhora que el sistema de generació d'energia elèctrica estigui carregant les bateries, el sistema propulsiu agafarà l'energia elèctrica de les bateries, per tant les variacions en la velocitat de càrrega i descàrrega de la bateria vindran donades per la exigència del cicle de conducció en cada instant produint-se en tot moment una gran variació de la velocitat de càrrega i descàrrega.


Per la implementació d'aquest sistema de control s'ha fet subdivisions o diferents parts de les zones de funcionament de la variable d'entrada i de sortida, discretitzant tot el seu domini.

Per la variable d'entrada, la velocitat de càrrega i descàrrega de les bateries, els valors que pot prendre estan compresos entre -0,05%/s i 0,05%/s, s'ha realitzat un total de 6 subdivisions en tota la zona de funcionament, aquestes subdivisions estan representades per corbes seguint les formes de campanes de Gauss, aquesta característica respecte a la forma de cada zona influirà en la resposta final degut a l'àrea total representada per cada àrea de discretització, aquestes particions del domini del valor de la variable corresponent a l'entrada es pot observa en la següent il·lustració.



Il·lustració 51. Zones de funcionament variable velocitat de carrega

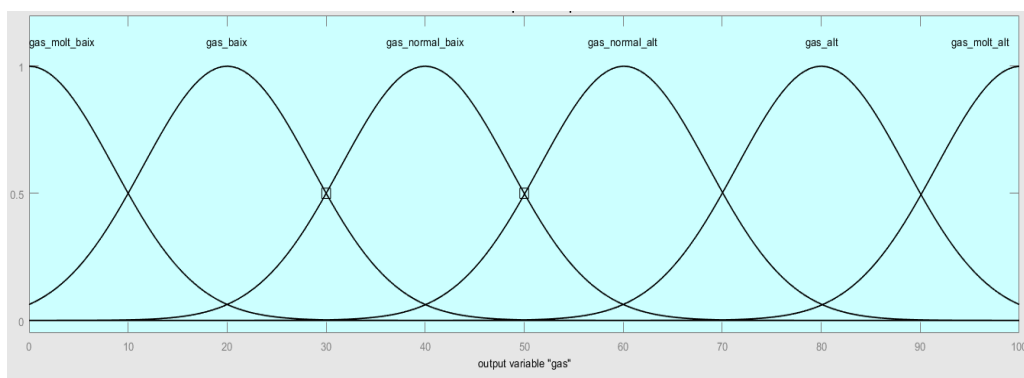
Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

La zona de funcionament desitjada pel correcte funcionament del generador elèctric es disposa entre 0,00%/s i 0,02%/s, aquesta zona se l'ha anomenat carregada adequada, i mitjançant les regles de funcionament del controlador es pretén que la càrrega de les bateries es disposa el màxim interval de temps dins d'aquesta zona.

Per l'establiment de la variable de sortida, que es el senyal de la quantitat d'accelerador que s'ha subministrar al motor de combustió, s'ha realitzat un procés d'implementació molt semblant a la variable d'entrada, s'ha dividit tots els valors que pot prendre aquesta variable de sortida en 6 regions diferents, cal tindre en compte que els valors de la variable de sortida estaran compresos entre 0 i 100, la forma d'aquestes subdivisions del domini de la variable de sortida també s'han establert amb una forma de campana de Gauss, igual que en la variable d'entrada.

En la il·lustració 50 es pot observar les particions que s'ha realitzat en els valors de la variable del control de l'accelerador.




Il·lustració 52. Zones de funcionament variable accelerador

Font: pròpia

Una altra part important en la implementació d'aquests tipus de controladors es l'establiment de les lleis, les quals es realitzaran basant-se en funció de les diferents particions que s'han realitzat en les variables d'entrada i sortida.

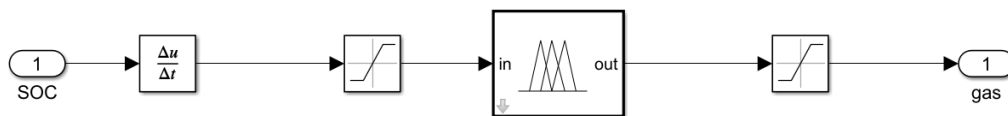
En el cas del nostre model aquestes lleis tindran un caràcter molt lineal, ja que el que s'està realitzant es un control sobre la càrrega de les bateries que es directament proporcional a la quantitat de corrent que el motor de combustió està subministrat, i alhora aquest es proporcional al control del gas, es a dir un augment de la variable de sortida provocarà un augment en la generació de corrent augmentant la velocitat de càrrega de les bateries.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Les lleis establertes en el control són de tipus condicional, aquestes lleis es presenten a continuació:


- Si la velocitat de carrega es troba en la zona de carrega_molt_baixa, llavors la variable gas es trobarà en la zona gas_molt_alt.
- Si la velocitat de carrega es troba en la zona de carrega_baixa, llavors la variable gas es trobarà en la zona_gas_alt.
- Si la velocitat de carrega es troba en la zona de carrega_una_mica_baixa, llavors la variable gas es trobarà en la zona gas_normal_alt.
- Si la velocitat de carrega es troba en la zona de carrega_adequada, llavors la variable gas es trobarà en la zona gas_normal_baix.
- Si la velocitat de carrega es troba en la zona de carrega_alta, llavors la variable gas es trobarà en la zonagas_baix.
- Si la velocitat de carrega es troba en la zona de carrega_massa_alta, llavors la variable gas es trobarà en la zona gas_molt_baix.

En la il·lustració 51, es pot observar les variables d'entrada i sortida en el model, i el bloc que permet la creació d'aquest tipus de controladors.



Il·lustració 53. Funcionament controlador fuzzy

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

6. Validació dels resultats de la simulació

En aquest capítol del projecte es tractarà l'anàlisi dels resultats obtinguts en la simulació, degut a la quantitat d'informació i paràmetres els quals ens dona el model de simulació, es tractarà aquests anàlisis en tres subapartats diferents, un apartat es basarà en els resultats i la informació que ens dona el sistema de generació d'energia elèctrica i la càrrega de les bateries, un altre subapartat consistirà en l'anàlisi dels resultats del sistema de transmissió d'energia mecànica mitjançant el tren epicicloidal i per últim es realitzarà una validació del model general, s'ha decidit realitzar aquestes tres diferenciacions degut a que en el model de simulació, els sistemes dels dos primers apartats són sistemes que treballen per separat, es a dir quan el generador elèctric estigui en funcionament, el motor secundari 'A' no es posarà en funcionament encara que la velocitat del vehicle sigui superior a la velocitat establert per al funcionament del motor secundari.


En el Opel Ampera, el seu funcionament sí que permet que els dos sistemes funcionin alhora, malgrat ser una contradicció pel fet que el motor 'A' i el generador són la mateixa maquina elèctrica, la transferència d'energia mecànica al tren epicicloidal mentre el generador està en funcionament, es realitza mitjançant el motor de combustió substituint la funció el motor 'A', aquesta transferència d'energia mecànica es realitza mitjançant un conjunt d'engrenatges i un sistema automàtic d'embragatges, en el model de simulació no s'ha realitzat aquesta configuració a causa de la falta d'informació en el funcionament real d'aquest tipus de sistema.

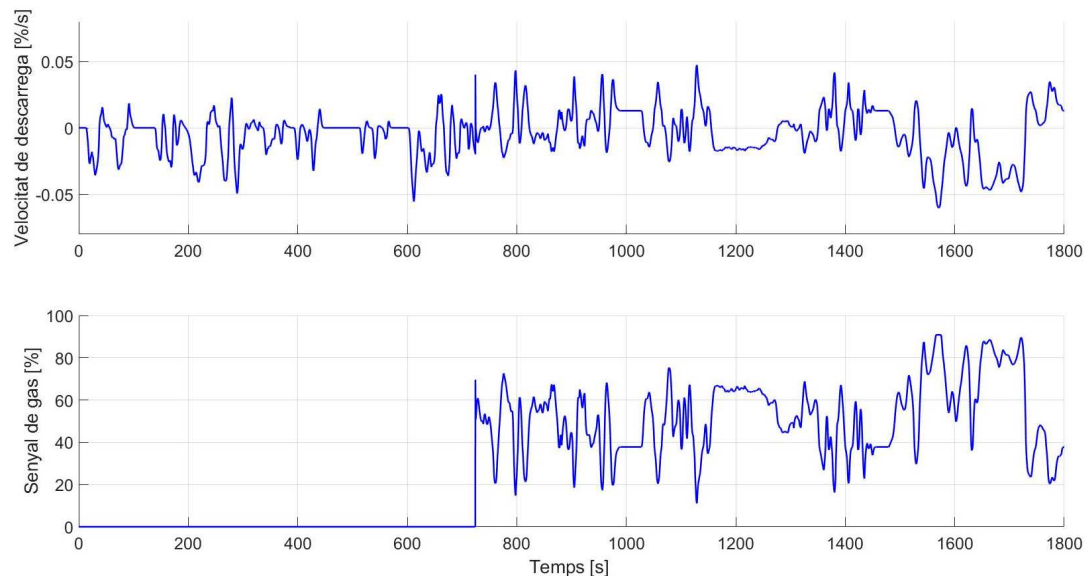
6.1 Validació del funcionament del generador elèctric

En aquest apartat es tractaran els resultats obtinguts de la simulació del model del generador implementat, s'analitzaran els resultats de cada subsistema que forma el generador, des del motor de combustió interna fins als diferents convertidors els quals estan incorporats en el model.

Per la validació del correcte funcionament del sistema s'utilitzarà el cicle de conducció WLTP classe 3 b, que disposa d'una durada total de simulació de 1800 segons.

La condició inicial de l'estat de la bateria, tindrà un valor del 30%, activant-se el funcionament del generador quan aquest sigui inferior al 25%.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

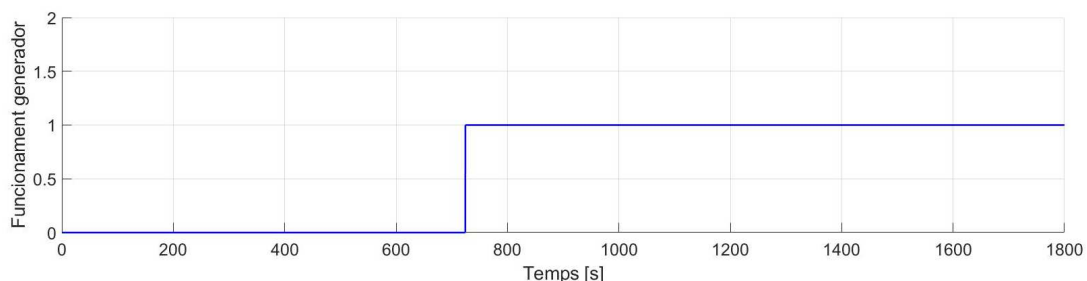


Il·lustració 54. Valors d'entrada i sortida controlador fuzzy

Font: pròpia


En la il·lustració 54, es pot observar el funcionament del controlador fuzzy, el qual en funció de la velocitat de descàrrega de la bateria, proporciona el senyal de comandament al motor de combustió interna.

Com es pot apreciar en la gràfica, el motor de combustió interna no s'activa fins a aproximadament transcorreguts 725 segons des de l'inici de la simulació, indicant que fins a aquests temps de simulació l'estat de càrrega de la bateria es superior al 25%, paràmetre preestablert en el model de simulació.



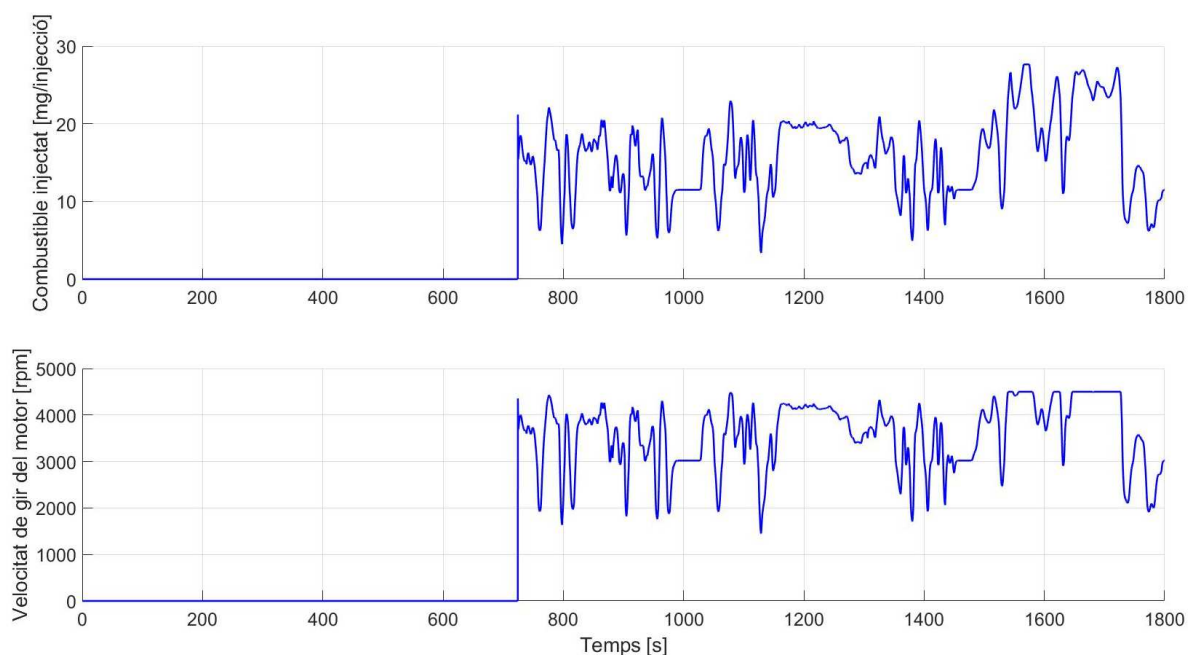
Il·lustració 55. Activació generador

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

En la il·lustració 56 es poden apreciar la variació dels valors de les variables de comandament del motor de combustió, que són la velocitat de gir i la quantitat de combustible injectat, com es pot apreciar en un règim de càrrega normal, el motor de combustió tindrà una velocitat aproximada de 3000 rpm.


Les variacions brusques de velocitat en el motor de combustió, són degudes al fet que en tot el transcurs de la simulació mentre el sistema del generador proporciona energia a les bateries, el sistema propulsiu absorbeix energia en funció de les especificacions del cicle de conducció, fent que sigui un control del motor de combustió molt variable.

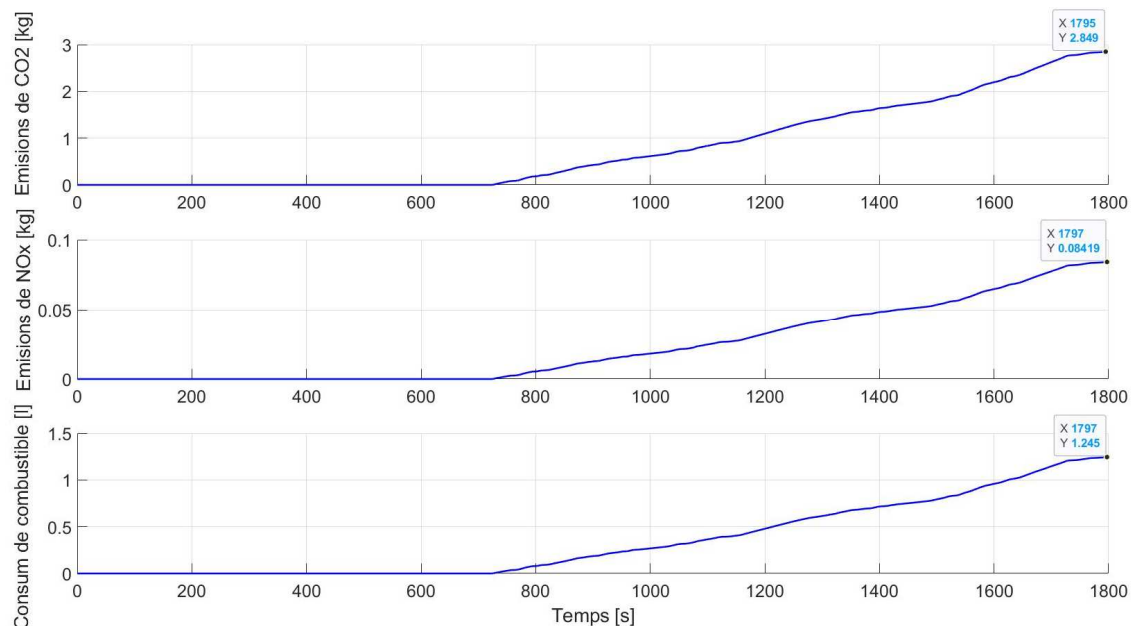


Il·lustració 56. Paràmetres de comandament sobre el motor de combustió interna.

Font: pròpia

Com es pot observar en el transcurs final de la simulació el motor de combustió gira al màxim de règim possible, això es a causa de les necessitats requerides pel sistema propulsiu, ja que al final del cicle WLTP es produeixen més acceleracions i la velocitat del vehicle es més alta, produint que el sistema consumeixi més energia i com a conseqüència el controlador fuzzy envia senyals que proporcionin el màxim parell motor disponible.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		



Il·lustració 57. Emissions i consum motor de combustió

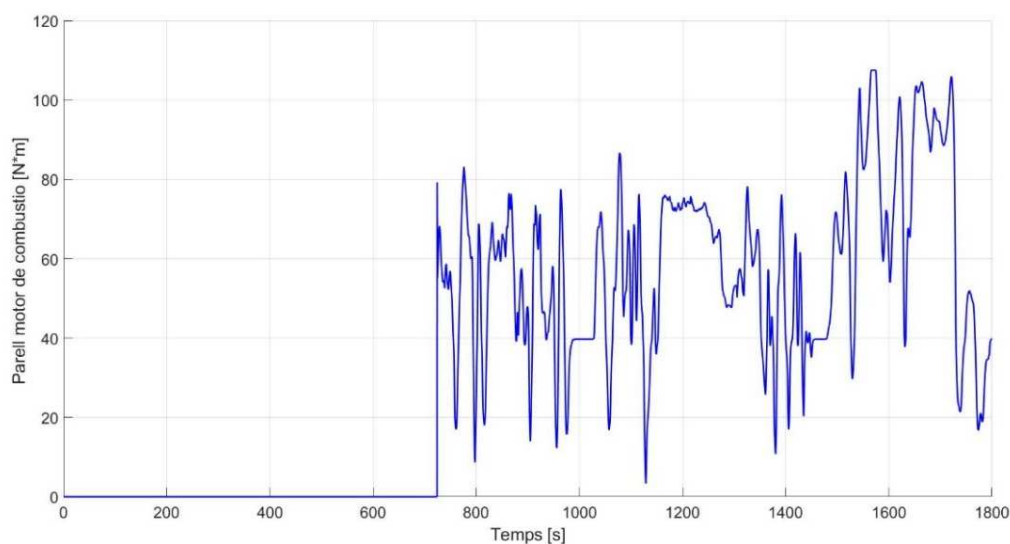
Font: pròpia

Les emissions de contaminants i consums de combustibles al transcurs de tota la simulació es poden apreciar en la il·lustració 57.

Com mostren les gràfiques s'han obtingut uns valors totals d'emissions de NO_x de 0,084 kg i 2,85 kg de CO₂, tenint en compte que s'han realitzat aproximadament 19,4 km des de l'inici del funcionament del motor de combustió, s'obté una mitja de 142,5 gCO₂/km, valor un tant excessiu però raonable per un motor de combustió interna.

Pel que fa a el consum de combustible s'ha obtingut un resultat total de 1,24 litres consumits, realitzant la mitja durant la distància recorreguda amb el motor de combustió en funcionament, s'obté una mitja de 6,4 litres cada 100 km, valor bastant similar al consum real del model.

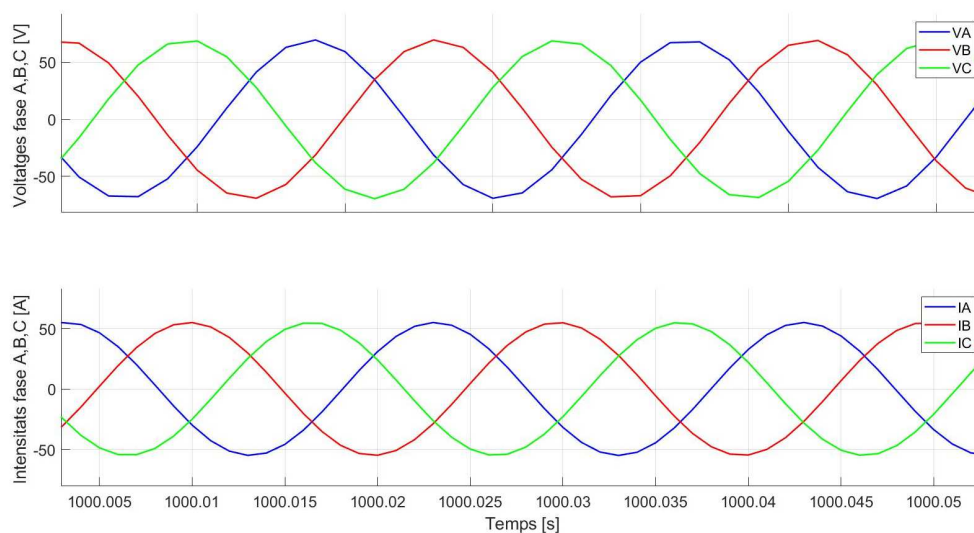
En la il·lustració 58 es pot apreciar la variació de parell obtingut a través del motor de combustió, com es pot observar en la gràfica obtenim un augment de parell en el transcurs final de la simulació, això es degut com ja s'ha comentat anteriorment a la demanda d'energia requerida per seguir les consignes de velocitat establertes en el cicle de conducció simulat.



Il·lustració 58. Parell motor de combustió


Font: pròpia

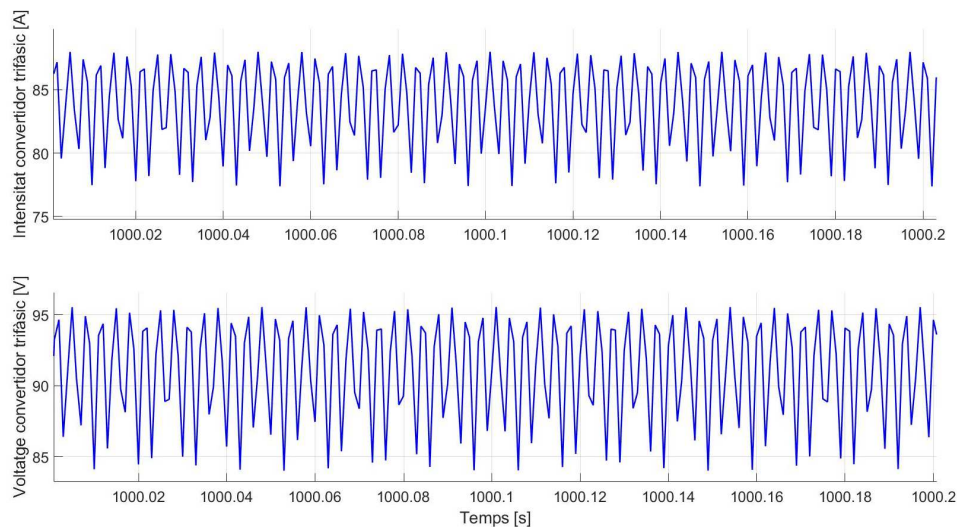
Un cop el motor de combustió proporciona el parell necessari segons la demanda, aquest es convertit en un corrent sinusoidal desfasat entre si 120° , en la il·lustració 59 es pot observar la intensitat i el voltatge obtingut pel generador en un instant de temps.



Il·lustració 59. Voltatges i intensitats generador

Font: pròpia

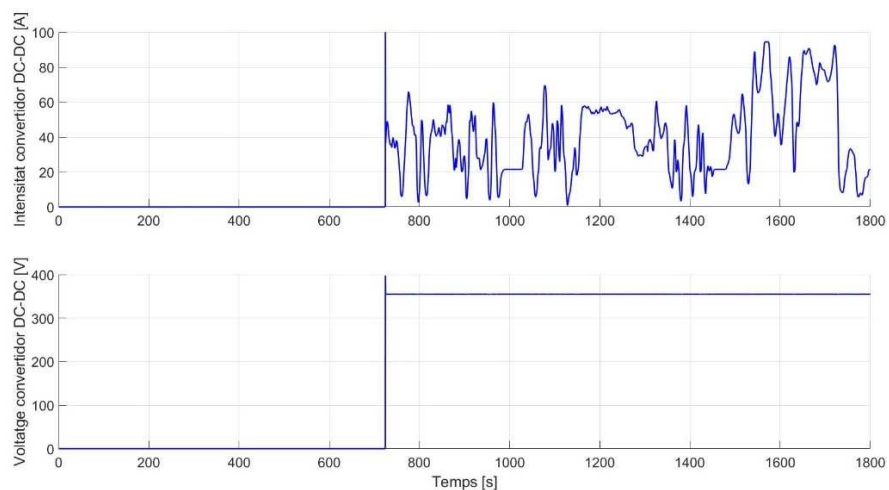
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		



Il·lustració 60. Intensitat i voltatge convertidor trifàsic

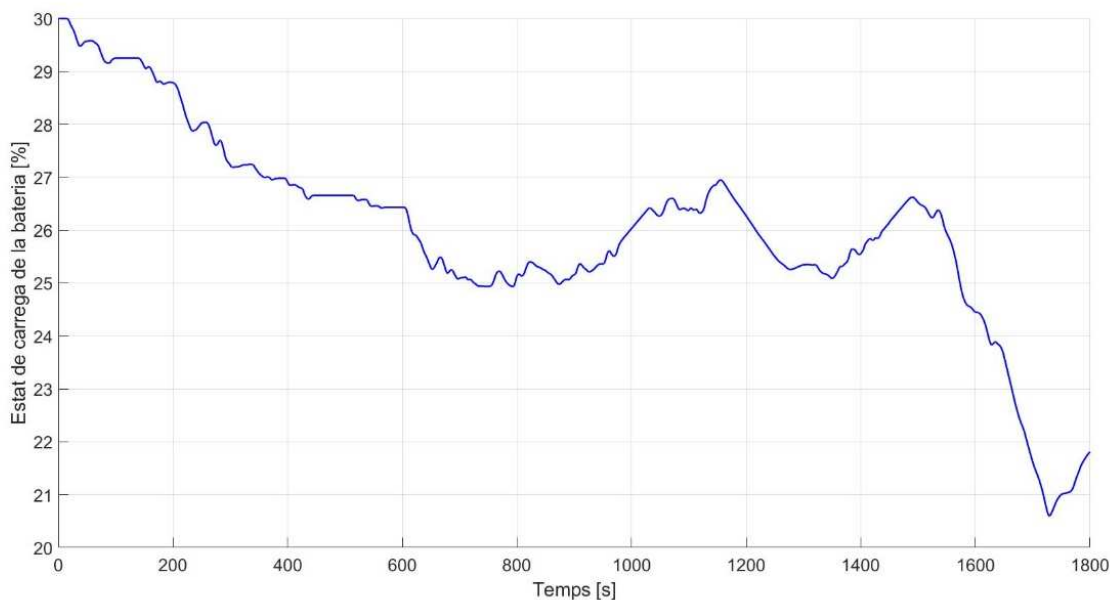
Font: pròpia

En la il·lustració 60 es pot observar els valors de voltatge i intensitat obtinguts mitjançant el convertidor trifàsic, amb la principal funció d'obtenir una intensitat continua al llarg del temps per a la recàrrega de les bateries, posteriorment aquests valors de corrent i voltatges seran tornats a rectificar per obtenir un valor específic i constant de voltatge al llarg del temps, aquesta conversió de voltatge i intensitat es pot observar en la il·lustració 61, obtenint un valor de voltatge de 355V, adequat per a la recàrrega de les bateries.



Il·lustració 61. Intensitat i voltatge convertidor boost

Font: pròpia




Il·lustració 62. Evolució de l'estat de càrrega de la bateria

Font: pròpia

Es pot observar la variació de l'estat de càrrega de les bateries en el transcurs de la simulació en la il·lustració 62, com es pot apreciar es a partir dels 725 segons aproximadament, transcorreguts des de l'inici de la simulació, quan el sistema comença a proporcionar energia elèctrica per a la recàrrega de les bateries.

Com es pot comprovar en la gràfica el sistema es capaç de proporcionar una recàrrega de les bateries mentre el vehicle es disposa en funcionament, però si s'observa la zona final de la gràfica, es pot apreciar com l'estat de càrrega de les bateries disminueix dràsticament, sent el generador d'unes prestacions insuficients per a mantindre el ritme de consum d'energia elèctrica, això es a causa de les exigències d'energia demandes pel sistema propulsiu per mantindre la velocitat del cycle de conducció

Es pot afirmar que el sistema es capaç de realitzar la recarrega de les bateries sempre que es realitzi una conducció amb acceleracions suaus i per sota d'una certa velocitat, si es volgués obtenir un sistema de generació d'energia elèctrica que sempre sigues capaç de subministrar l'energia consumida pel sistema propulsiu s'haurien d'augmentar les prestacions del motor de combustió interna, en el model no s'ha realitzat aquest augment de prestacions degut a que incrementarien les emissions, els consums i la massa del vehicle, provocant un augment de l'energia requerida pel sistema propulsiu, altrament degut a la quantitat de transformacions d'energia que es produeixen en un sistema d'aquestes característiques, també s'augmentaria la quantitat d'energia perduda en tot el procés de transformació, sent el sistema menys eficient.

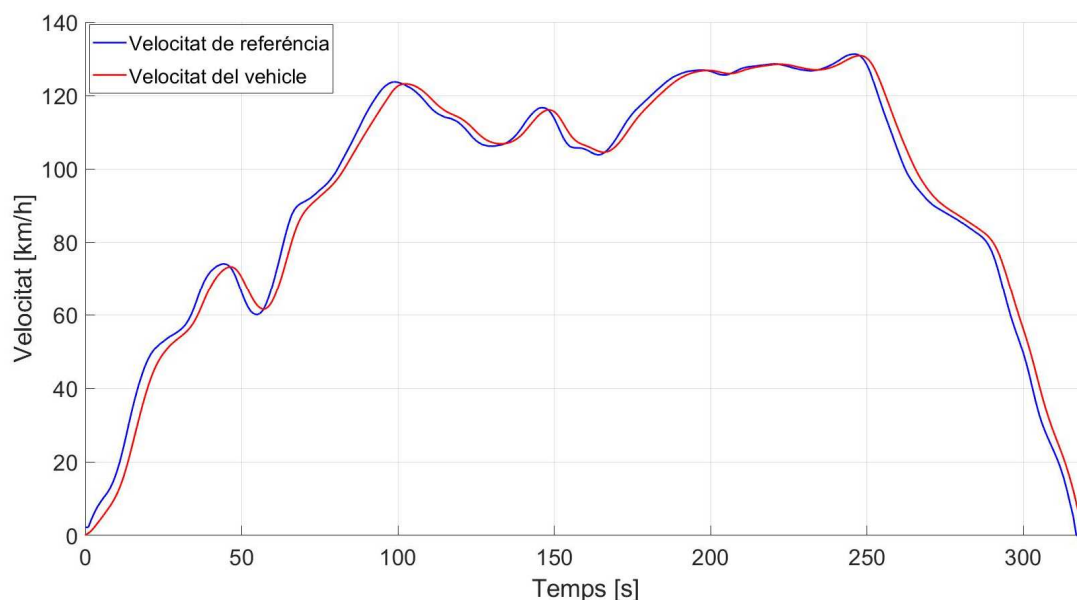
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

6.2 Validació del funcionament del sistema de transmissió

Com ja s'ha comentat anteriorment, el sistema de transmissió en el model de simulació té dos sistemes d'operació en funció de la velocitat la qual disposa el vehicle, amb la finalitat d'obtenir una major eficiència en el funcionament dels motors elèctrics i un estalvi d'energia elèctrica, disminuint la velocitat de descàrrega de les bateries.


La validació del correcte funcionament del sistema de transmissió d'energia mecànica del vehicle es realitzarà utilitzant el cicle de conducció WLTP classe3 b, més concretament solament es simularà la part de velocitats més altes del cicle de conducció, amb la finalitat d'extreure les dades necessàries pel funcionament del sistema del tren epicicloidal en els dos modes d'operació diferents, els quals s'han implementat en el model.

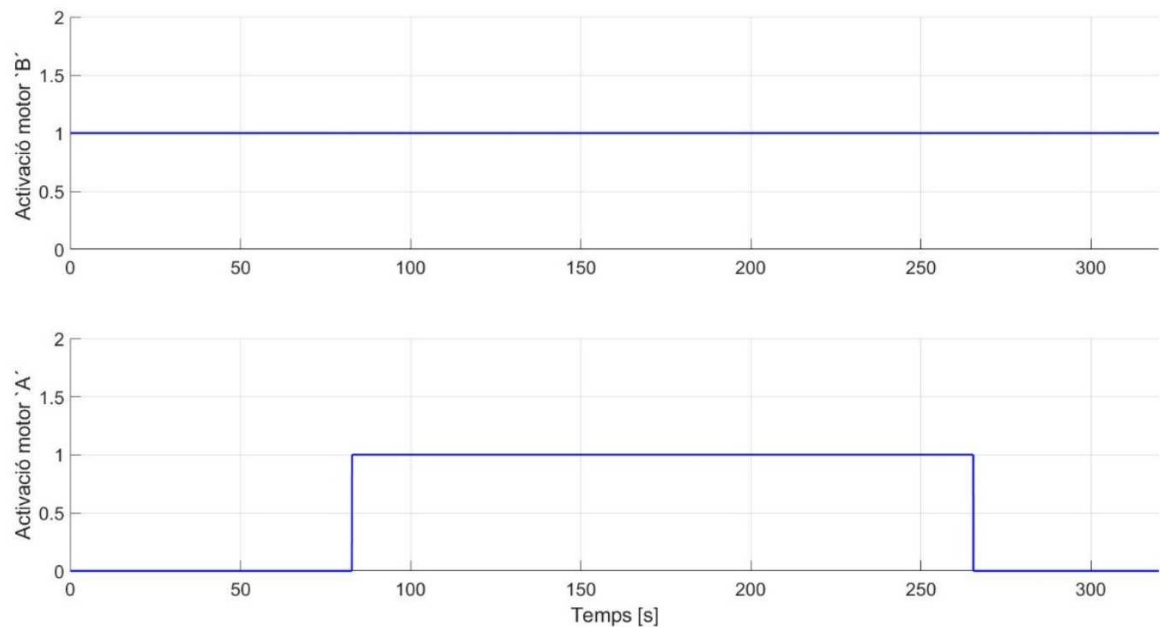
Primerament abans d'obtenir els resultats dels sistema epicicloidal, mitjançant la il·lustració 63 es pot comprovar que tant el sistema epicicloidal com el controlador dels motors elèctrics, que decideixen quin es el parell que s'ha d'enviar a les rodes, funcionen correctament, mantenint la velocitat del vehicle molt propera a la velocitat de referència del cicle de conducció, tenint un retard entre aquestes dues degut a les característiques pròpies del controlador PI.



Il·lustració 63. Comprovació del correcte funcionament del model mitjançant la velocitat

Font: pròpia

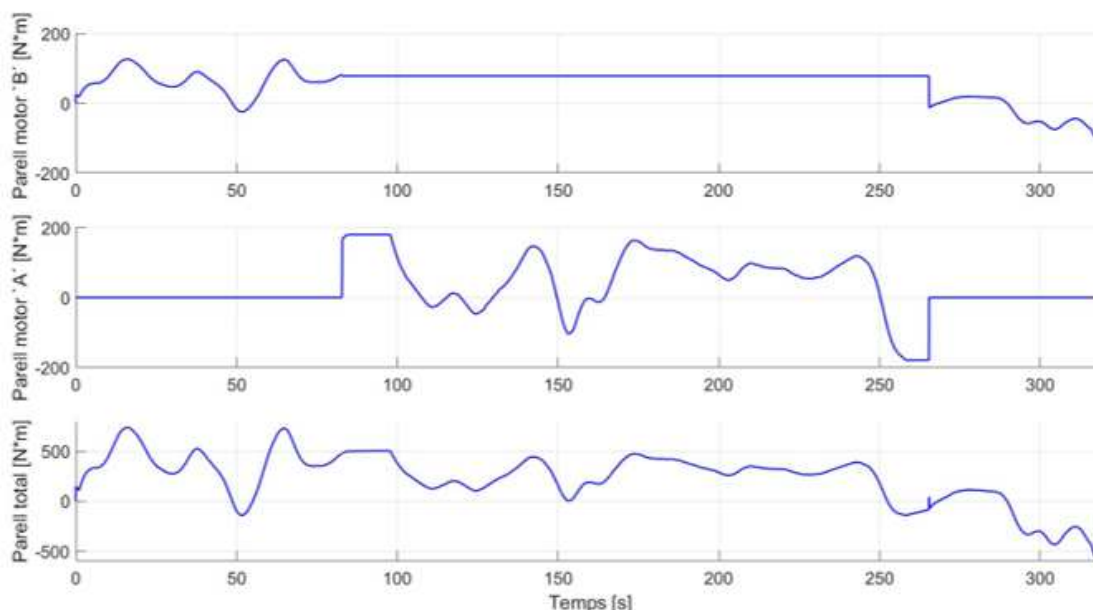
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		



Il·lustració 64. Funcionament dels motors elèctrics

Font: pròpia

En la il·lustració 64, es pot observar el temps de funcionament dels dos motors elèctrics, com es pot observar en la gràfica superior, el motor 'B', que es el motor principal de majors prestacions, està en funcionament durant tot el temps transcorregut en la simulació, mentre que el motor 'A', motor de menors prestacions, s'activa en un temps de 82,66 segons i es desactiva transcorreguts 265 segons des de l'inici de la simulació, per tant durant aquest període de temps compres entre 82,66 i 265 segons la velocitat del vehicle es superior a 100km/h, activant el funcionament del tren epicicloidal per la millora de les eficiències dels dos motors elèctrics.




Il·lustració 65. Parells dels motors elèctrics i parell total subministrat

Font: pròpia

Els parrells obtinguts de cada motor elèctric, es poden observar en la il·lustració 65, com mostren els resultats obtinguts en aquestes gràfiques, en el moment d'activació del motor secundari 'A', el motor principal 'B' treballarà a un règim permanent, proporcionant un parell constant de 78,5 N*m, aquesta regulació de parell tant en el motor 'B' com el 'A', es regula mitjançant el corrent proporcionat pels diferents inversors.

Pel que fa a el motor secundari 'A', en el moment de la seva activació, es aquest el que serà l'encarregat de proporcionar la variació de parell necessari en cada moment perquè la velocitat del vehicle sigui el més propera a la velocitat de referència del cicle de conducció, es a dir en aquest mode de funcionament la regulació de la velocitat del vehicle es realitza mitjançant aquest motor secundari.

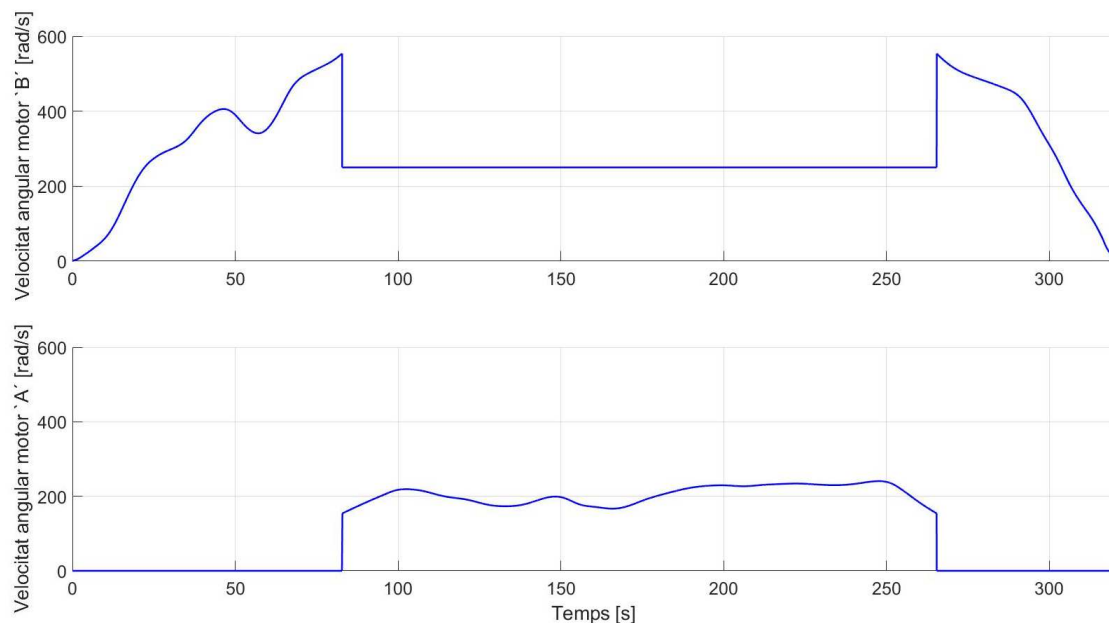
En l'última gràfica de la il·lustració 65, es pot observar el parell final transmès a la roda mitjançant el tren epicicloidal, aquest parell és la combinació del parell obtingut pel motor principal i el motor secundari, en les regions en les quals el parell total proporcionat es de signe negatiu, es degut a que es produeix una reducció de la velocitat del vehicle, i per tant els motors elèctrics produeixen un parell negatiu per a produir-se aquesta disminució de la velocitat.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

Les velocitats angulars de cada motor elèctric, estan representades en la il·lustració 66, com es pot observar la velocitat de gir del motor 'B' en l'activació d'aquest mode de millora de l'eficiència, es manté constant mentre estigui activat el mode, mentre que l'altre motor, el secundari, serà el que tindrà un lligam de relació directa entre la seva velocitat de gir i la velocitat de gir del neumàtic.


Quan el model de simulació es troba fora d'aquest mode de funcionament de millora de l'eficiència, es el motor principal el que manté un lligam directe de relació entre la seva velocitat de gir i la velocitat de gir del neumàtic, malgrat aparenti ser una contradicció que el motor principal permeti un lligam directe i alhora no, es possible gràcies al tren epicicloidial, ja que funciona com un tren diferencial, mantenint tots els seus components en moviment i permeten aquesta singular configuració de funcionament.

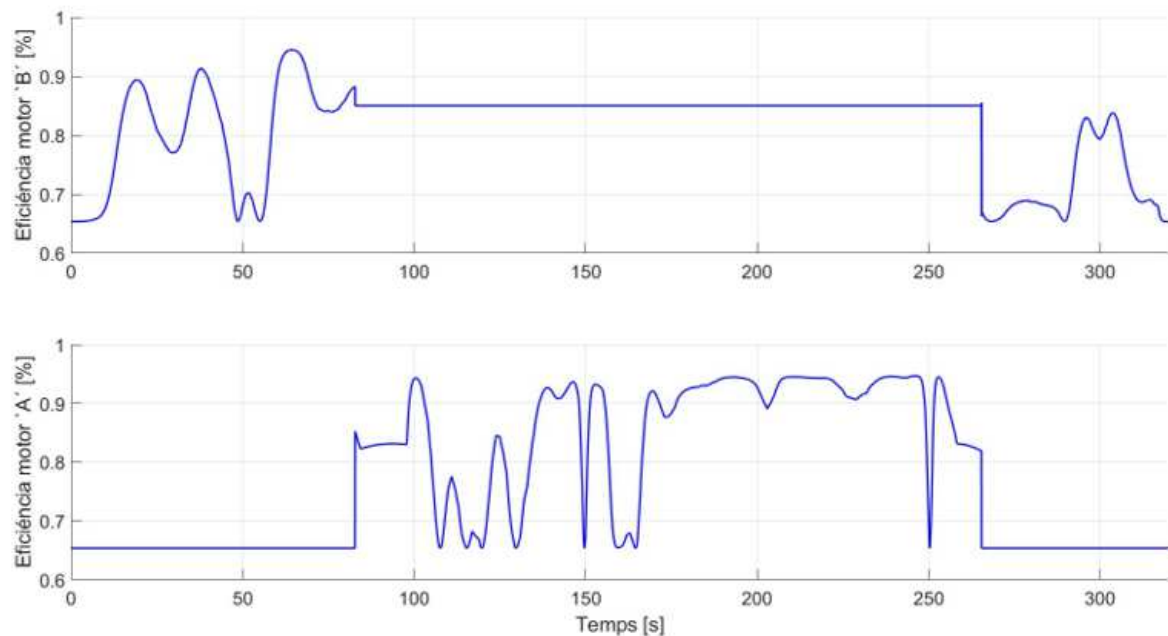
Cal remarcar que la regulació de la velocitat de gir del motor elèctric s'hauria de realitzar mitjançant un sistema PWM, controlant el valor del voltatge subministrat a aquest, ja que en el model de simulació solament s'ha establert aquesta consigna de velocitat angular com una constant sense realitzar aquest control del voltatge.



Il·lustració 66. Velocitat angular dels motors elèctrics

Font: pròpia

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		




Il·lustració 67. Eficiències dels motors elèctrics

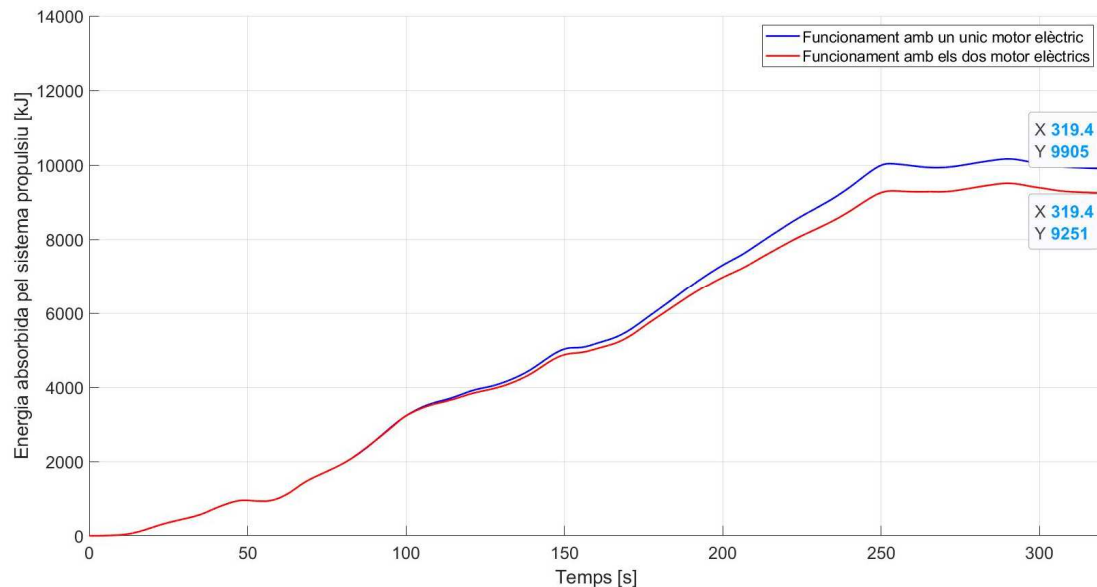
Font: pròpia

Les eficiències dels dos motors elèctrics en el transcurs de la simulació es poden observar en la il·lustració 67, com es pot apreciar en les dues gràfiques, quan el sistema epicicloidal funciona com a tren diferencial, es a dir s'activen els dos motors elèctrics, l'eficiència del motor principal 'B' es manté constant amb un valor del 85%, mentre que l'eficiència del motor 'A' obté uns resultats d'eficiència majoritàriament bastant bons, obtenint una eficiència superior al 80% una gran part del temps mentre el sistema es disposa en aquest funcionament, cal remarcar que l'eficiència del motor 'A', vindrà donada per la demanda de potència requerida pel sistema propulsiu, contra major sigui el parell que ha de subministrar el motor 'A', major serà la seva eficiència.

Com es pot observar en la gràfica d'eficiència del motor 'B', quan el sistema deixa de funcionar com a un tren diferencial, i passa a un tren epicicloidal simple, l'eficiència del motor 'B' disminueix per sota del 85%, eficiència que s'obtenia quan el tren epicicloidal es trobava en funcionament com a tren diferencial.

En la gràfica de l'eficiència del motor 'A', quan el tren epicicloidal estigui en funcionament com a un tren simple, encara que en la gràfica s'obtingui una eficiència del 65%, el motor 'A', no estarà en funcionament, aquesta eficiència que dona la gràfica quan el tren simple està en funcionament es degut als mapes d'eficiència dels motors elèctrics utilitzats.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		




Il·lustració 68. Energia absorbida pel sistema propulsiu

Font: pròpia

Es poden observar els resultats obtinguts sobre l'energia extreta de la bateria en la il·lustració 68, com es pot apreciar apareixen les gràfiques de l'energia extreta amb aquesta implementació del tren epicicloidal diferencial (corba vermella) i sense el tren epicicloidal diferencial amb l'actuació d'un únic motor elèctric (corba blava).

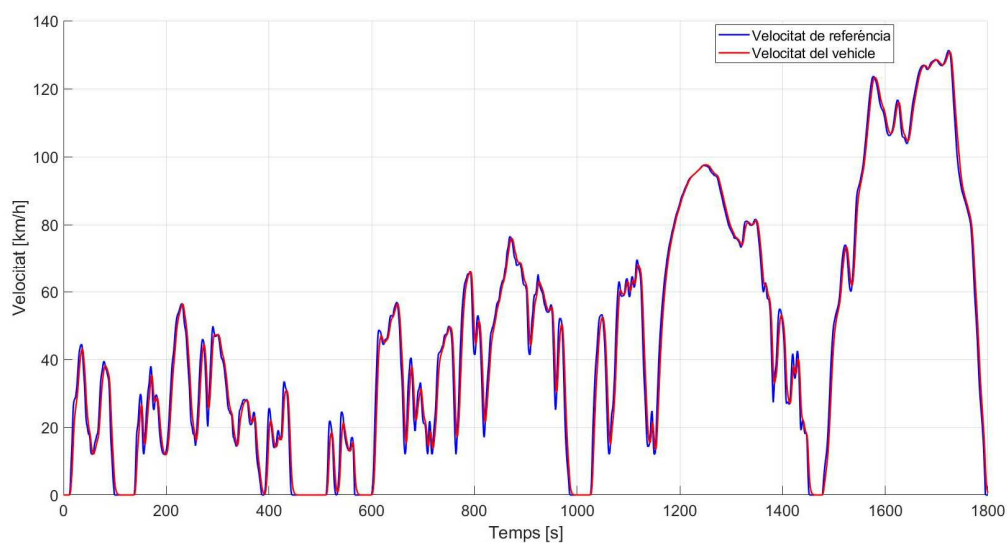
Es pot apreciar en la gràfica, que mitjançant aquesta implementació realment obtenim una millora de les eficiències dels motors elèctrics, requerint una disminució de la demanda d'energia del sistema propulsiu i augmentant la capacitat de durada de les bateries.

Com es pot observar en el transcurs de la simulació, entre 0 i 82 segons aproximadament, les dues corbes tenen els mateixos valors d'energia absorbida, és a partir del segon 82 aproximadament, quan es posen en funcionament els dos motors elèctrics, que sobtada un augment de les eficiències en la transformació d'energia elèctrica en mecànica, mitjançant la utilització del tren epicicloidal diferencial, es pot observar clarament que finalitzada la simulació, el sistema que no disposa de tren epicicloidal diferencial i només actua un motor elèctric, ha consumit un 6% més d'energia que l'altre sistema que actuen els dos motors elèctrics, validant així el correcte funcionament del sistema de millora de les eficiències dels motors elèctrics utilitzant un sistema de tren epicicloidal com a sistema de transmissió d'energia mecànica, cal remarcar que aquest 6% inferior d'energia extreta de la bateria vindrà donat per la quantitat de temps que es posi en funcionament el tren epicicloidal diferencial, és a dir si s'hagués realitzat una simulació més llarga, la diferència d'energies extretes en els dos sistemes hauria sigut més rellevant, donant una major diferència d'energia.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

6.3 Validació general del model


En aquest subapartat referent a la validació general del model, es realitzarà la comprovació de diversos aspectes del funcionament del model de simulació comparats amb el model real, com són l'acceleració, l'autonomia proporcionada en el mode de funcionament purament elèctric o consums energètics entre d'altres.



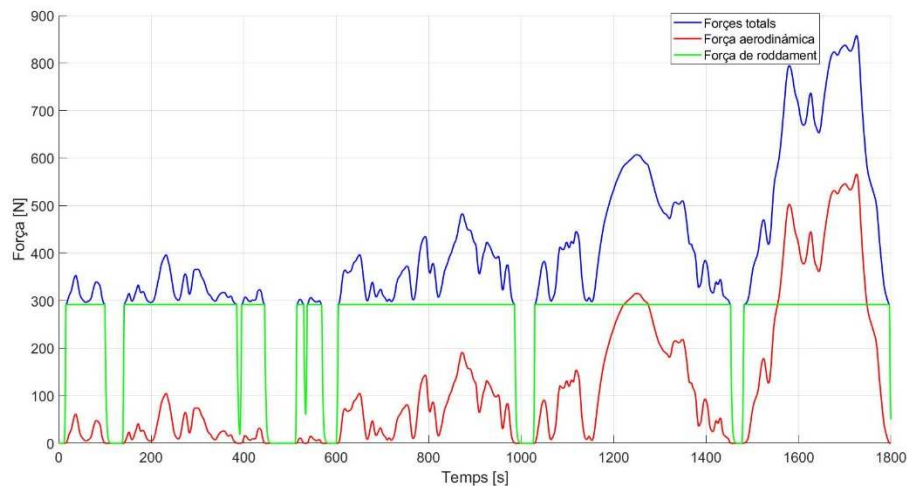
Il·lustració 69. Validació del correcte funcionament del control de la velocitat

Font: pròpia

En la il·lustració 69 es pot observar el perfil de velocitats al llarg del transcurs de la simulació en un cicle de conducció WLTP classe 3b, aquesta gràfica indica el correcte funcionament de tots els components del vehicle, proporcionant la força necessària en cada instant de temps per mantindre la velocitat consigna, tant si es treballa en el mode de funcionament amb un sol motor elèctric, o amb el mode on funcionen els dos motors elèctrics proporcionant energia mecànica al sistema propulsiu.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

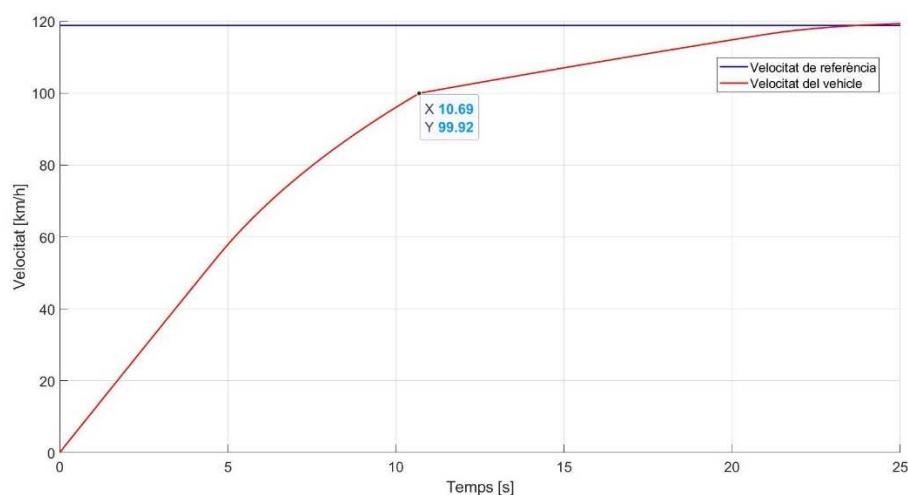
Pel que fa a les forces que s'oposen al moviment del vehicle, es poden observar en la il·lustració 70, com es pot apreciar la força de rodament és un valor constant al llarg del temps que actua quan la velocitat del vehicle és més gran que zero, per altra banda la força aerodinàmica es la que produeix una variació en les forces totals exercides sobre el vehicle, produint un augment de la força contra major és la velocitat del vehicle.



Il·lustració 70. Forces contraproduents del model

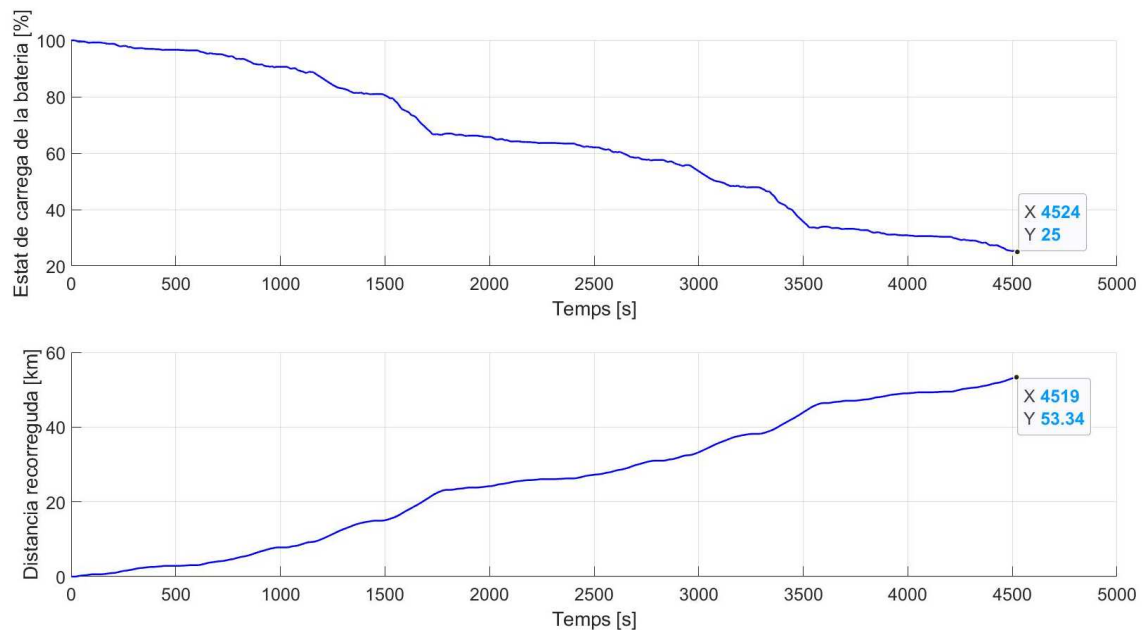
Font: pròpia

La validació de l'acceleració del vehicle de 0-100 km/h es pot apreciar en la il·lustració 71, obtenint un valor de 10,69 segons, valor molt pròxim al del model real que disposa d'una acceleració de 0-100 km/h de 9 segons.



Il·lustració 71. Validació acceleració de 0-100 km/h

Font: pròpia



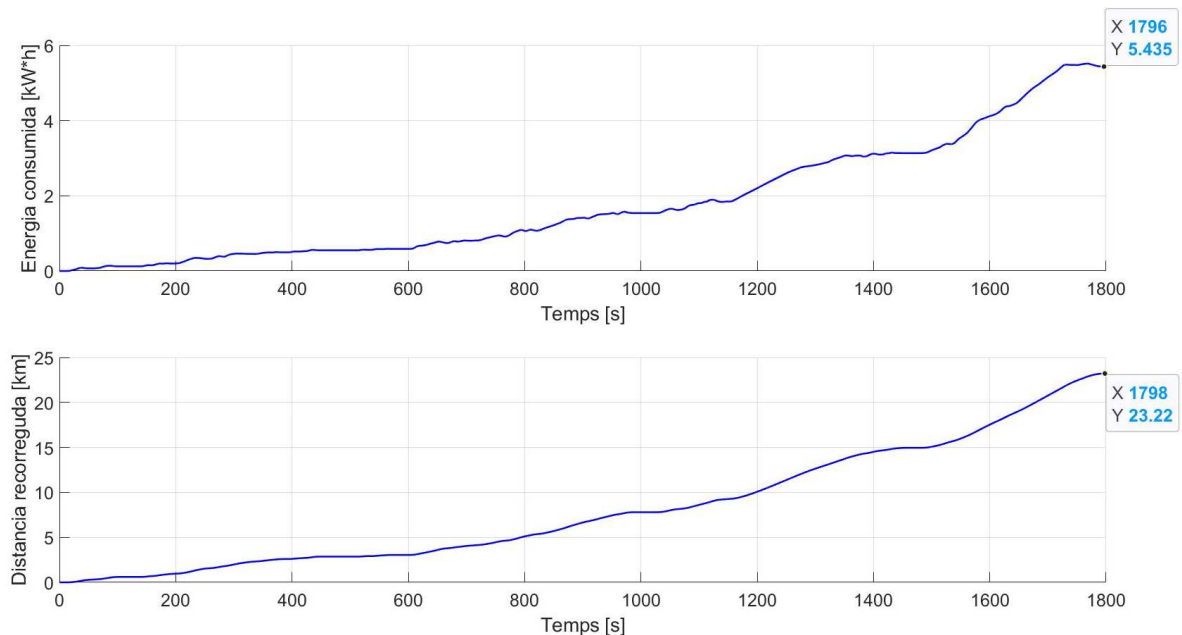
Il·lustració 72. Autonomia màxima del model

Font: pròpia

L'autonomia màxima del model de simulació del vehicle es apreciable en la il·lustració 72, per obtenir aquest valor s'ha realitzat una simulació de més de dos cicles continuats del WLTP classe 3b.

Com es pot observar començant amb un estat de càrrega del 100% s'obté una autonomia màxima aproximada de 53 km, aquesta autonomia màxima s'ha considerat fins al punt en el qual el motor de combustió començaria a actuar per a proporcionar energia elèctrica mitjançant el generador elèctric, aquest punt d'estat de càrrega es del 25% comentat en apartats anteriors.

Cal remarcar que l'autonomia del vehicle obtinguda sempre depèn de les condicions de la conducció, però els valors obtinguts són raonables amb els valors proporcionats pel fabricant de l'automòbil, que especifica que es poden realitzar entre 40 i 80 km d'autonomia màxima, obtenint una mitjana de 60 km d'autonomia màxima, valor molt pròxim a l'obtingut en el model de simulació.



Il·lustració 73. Consum energètic del model

Font: pròpia


Pel que fa al consum energètic del model de simulació, s'ha obtingut que realitzant una simulació del cicle de conducció WLTP classe 3b el consum energètic obtingut ha estat de 5,43 kW*h, realitzant una distància total recorreguda de 23,22 km s'obté una mitja de 23,44 kW*h/100 km consumits, valor bastant pròxim amb proves realitzades sobre el vehicle en la realitat, que donen un valor aproximadament de 20,62 kW*h/100 km.

Com ja s'ha comentat amb la validació de l'autonomia, el resultat obtingut en el consum energètic també influiran les característiques de conducció del vehicle, però forma general es pot comprovar com el model de simulació obté resultats molts semblants en el model real del vehicle.

En la taula mostrada a continuació es poden observar els principals paràmetres obtinguts en la simulació, comparats amb valors obtinguts en la realització de proves del Opel Ampera.

	Opel Ampera	Model simulat
Acceleració 0-100 km/h	9 s	10,7 s
Consum de combustible	6,6 l/100km	6,4 l/100km
Consum energètic	20,62 kW*h/100 km	23,44 kW*h/100 km
Autonomia màxima	40-80 km	53 km

Taula 5. Comprovació valors obtinguts en la simulació

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

7. Conclusions


Realitzada la implementació i la validació del model de simulació d'un vehicle híbrid en sèrie, s'han pogut extreure una sèrie de conclusions sobre el funcionament i els resultats obtinguts en el model de simulació.

Respecte al funcionament dels blocs implementats s'ha pogut corroborar que operen de forma adequada i en els règims pertinents els quals s'ha decidit que funcionessin, però cal remarcar que la implementació del generador s'ha realitzat de forma generalitzada a causa de la complexitat que comporta un sistema d'aquesta envergadura, però per les necessitats del model el qual s'ha tractat, han sigut suficients per a extreure el funcionament que es buscava i els paràmetres adients obtinguts del procés de simulació.

També s'ha pogut observar la complexitat de la implementació i simulació d'un vehicle com és el Opel Ampera, el qual utilitza una tecnologia molt innovadora, operant amb sistemes que busquen obtenir la màxima eficiència del sistema propulsor, i gràcies a la simulació es pot obtenir un comportament del vehicle sense necessitat de ser implementat.

Referent als resultats obtinguts s'ha validat el correcte funcionament dels subsistemes que formen el model, i també la implementació del sistema epicicloidal, el qual s'ha corroborat la millora de les eficiències dels motors elèctrics.


Per aquests motius es pot constatar la validesa del funcionament del model d'un vehicle híbrid sèrie, i el gran potencial d'aquest, ja que partint de la mateixa base del model es podien realitzar les variacions dels paràmetres de funcionament adients a la implementació necessària del vehicle híbrid desitjat.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

8. Línies futures de treball

Les futures línies de treball per a la millora del model de simulació són les propostes enumerades a continuació:

- Realització d'un sistema que permeti el funcionament conjuntament del generador i el sistema de millora d'eficiència mitjançant el tren epicicloidal.
- Implementació dels diferents modes de conducció disponibles en el Opel Ampera variant l'entrega de potència del sistema propulsiu.
- Realització més acurada en el sistema de generació d'energia elèctrica.
- Implementació d'un sistema de control PWM, per al control de la velocitat de gir del motor elèctric.
- Millora en els motors elèctrics per a la representació d'un comportament dinàmic en el model de simulació.
- Implementació en el model de simulació del comportament dinàmic del vehicle, tenint en compte transferències de masses a causa de les acceleracions i coeficients de rodadora en funció del lliscament.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

9. Impacte mediambiental


En el projecte realitzat sobre el desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid, s'han pogut apreciar impactes que té aquest sobre el medi ambient.

Mitjançant la implementació d'aquest model s'han obtingut una base de dades de les quals es poden extreure informació de gran utilitat, com són consums i emissions, aquests paràmetres tenen un gran impacte negatiu sobre el medi ambient.

Per mitjà de l'estudi a través de la simulació del model, es pot en certa manera, estimar quins serien aquests valors de consums o emissions, sense portar el model a la realitat, i gràcies a la simulació es poden obtenir les característiques pròpies del sistema, en aquest cas el motor de combustió interna, per obtenir valors d'aquests factors amb la mínima repercussió pel medi ambient.

Cal tindre en compte que amb el model reproduït d'un vehicle híbrid, no només influiran en el medi ambient aspectes relacionats amb el motor de combustió interna, sinó que també paràmetres com poden ser consums energètics i eficiències de treball dels motors elèctrics, aspectes tractats en aquest treball.

Malgrat impulsar el vehicle mitjançant sistemes de propulsió elèctrics, emmagatzemant l'energia elèctrica en bateries, la recàrrega de les bateries en punts destinats a aquestes accions, poden obtenir l'energia elèctrica mitjançant fonts d'energia no renovables, per tant millorant aspectes de rendiment com poden ser eficiències dels motors elèctrics o els consums energètics també influïm en certa mesura amb impactes pel medi ambient, i mitjançant processos com són els de simulació es poden extreure informació per la parametrització dels sistemes, com s'ha efectuat en el disseny del tren epicicloidal, el qual s'ha corroborat que aporta una major eficiència de treball dels motors elèctrics i per consegüent una millora del consum energètic del vehicle.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

10. Resum del pressupost

En aquest apartat es realitza una breu explicació sobre els principals costos de desenvolupament que s'han realitzat en el transcurs del projecte.


Principalment es poden diferenciar dos tipus de costos, aquests són el cost d'enginyeria i el cost de les llicències.

El cost d'enginyeria es degut a les hores de dedicació per la realització del model de simulació i la redacció de la memòria, i el cost de les llicències es degut les llicències de software necessàries per a l'adquisició del programari necessari per el desenvolupament correcte del projecte, aquestes llicències són principalment Matlab R2019b i el paquet Microsoft Office, utilitzats per la realització de la simulació i la redacció i presentació del treball, respectivament.

Tipus de cost	Preu total [€]
Ma d'obra Enginyeria	8.250,00
Llicència de software	533,95
TOTAL	8783,95


Taula 6. Resum del pressupost

Com es pot observar en la taula presentada anteriorment, el cost total de la realització d'aquest projecte té un preu total de 8783,95 €.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

11. Referencies bibliogràfiques

- [1] R. González-Oropeza, "Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte", Facultad de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2005.
- [2] <<DieselNet,>>[En línia]. Available:
<https://dieselnet.com/standards/cycles/hwfet.php>. [Últim accés: Abril 2019]
- [3] <<Know IC Engine,>>[En línia]. Available:
<https://knowicengine.wordpress.com/2016/04/24/the-us-federal-light-duty-exhaust-emission-test-procedure-ftp-75/>. [Últim accés: Abril 2019]
- [4] <<DieselNet,>>[En línia]. Available:
<https://dieselnet.com/standards/cycles/ftp72.php>. [Últim accés: Abril 2019]
- [5] <<Wikipedia,>>[En línia]. Available:
https://en.wikipedia.org/wiki/New_European_Driving_Cycle. . [Últim accés: Abril 2019]
- [6] <<DieselNet,>>[En línia]. Available:
https://dieselnet.com/standards/cycles/ftp_us06.php. [Últim accés: Abril 2019]
- [7] T.Peter, Z.Bede, "The extraction of unique velocity processes from a macro model", Periodica Polytechnica Transportation Engineering, Hungary, 2010.
- [8] <<Wikipedia,>>[En línia]. Available:
<https://es.wikipedia.org/wiki/WLTP>. [Últim accés: Abril 2019]
- [9] <<DieselNet,>>[En línia]. Available:
<https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>. [Últim accés: Abril 2019]
- [10] M.Gis, M.Bednarski "Comparative studies of harmful exhaust emission from a hybrid vehicle and a vehicle powered by spark ignition engine", Warsaw University of Technology, Warsaw, 2018.
- [11] <<Revista autocrash,>>[En línia]. Available:
<https://www.revistaautocrash.com/abc-los-vehiculos-hibridos/>. [Últim accés: Maig 2019]
- [12] R.Matthé, U.Eberle, "The Voltec System—Energy Storage and Electric Propulsion", GENERAL MOTORS EUROPE, ADAM OPEL AG, RÜSSELSHEIM, Germany.
- [13] << Blogthinkbig,>>[En línia]. Available:

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa	Iñaki Marin Capuz	Document: Memòria	Data: 30/06/2020
	Projecte de desenvolupament d'un model de simulació d'un vehicle híbrid sèrie		

<https://blogthinkbig.com/funcionamiento-del-motor-hibrido>. [Últim accés: Maig 2019]

[14] << Search Auto Parts,>>[En línia]. Available:

<https://www.searchautoparts.com/motorage/undercar-service-repair/technical-look-parallel-axis-hybrid-transaxles?page=0,2>. [Últim accés: Maig 2019]

[15] <<KM77,>>[En línia]. Available:

<https://www.km77.com/coches/opel/ampera/2012/estandar/informacion/opel-ampera-informacion-tecnica>. [Últim accés: Maig 2019]

[16] <<Motor pasión,>>[En línia]. Available:

<https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/opel-ampera-a-fondo-parte-1>. [Últim accés: Maig 2019]

[17] <<Movilidad eléctrica,>>[En línia]. Available:

<https://movilidadelectrica.com/volt-datos-tecnicos-2-de-3/>. [Últim accés: Maig 2019]

[18] << Killers 4hire,>>[En línia]. Available:

<http://www.killers4hire.com/files/mazda/mazda3/esicont/es/mission/B01/html/B3E051701030A22.html>. [Últim accés: Maig 2019]

[19] <<GM-VOLT,>>[En línia]. Available

<https://www.gm-volt.com/threads/derivation-of-gen-2-volt-planetary-gear-set-ratios-and-speed-equations.337708/>. [Últim accés: Maig 2019]

[20] <<Green Cars Congress,>>[En línia]. Available

<https://www.greencarcongress.com/2015/04/20150423-voltec.html>. [Últim accés: Maig 2019]

[21] <<SAE,>>[En línia]. Available

<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2011-01-0887/>. [Últim accés: Maig 2019]

[22] <<CISE electrònica,>>[En línia]. Available

<http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/704-la-bater%C3%ADa-de-alta-tensi%C3%B3n-del-chevrolet-volt.html>. [Últim accés: Maig 2019]

[23] <<FISICALAB,>>[En línia]. Available

<https://www.fisicalab.com/ejercicio/769>. [Últim accés: Maig 2019]